



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

TESINA D'ESPECIALITAT

TÍTOL

Efecte del canvi climàtic en platges encaixades a Catalunya

AUTOR

Miquel Gost Amengual

TUTORS/ES

Casas i Prat, Mercè; Gracia Garcia, Vicente; Sierra Pedrico, Joan Pau

DEPARTAMENT

Eng. Hidràulica, Marítima i Ambiental

INTENSIFICACIÓ

Enginyeria Marítima

DATA

Maig 2014

AGRAÏMENTS

En aquesta pàgina m'agradaria agrair, primer de tot als meus tres tutors, per a la seva dedicació i paciència que han tingut amb mi. Segon, per a la meva família, especialment els meus pares, per haver-me educat i encoratjat a prosseguir amb els meus estudis. I per últim, a la meva al·lota pel seu suport. Ja que sense la seva ajuda no hagués estat possible.

Efectes del canvi climàtic en platges encaixades a Catalunya

Autor: Miquel Gost Amengual

Tutors/es: Joan Pau Sierra Pedrico, Mercè Casas i Prat, Vicente Gracia Garcia

RESUM

En la present tesina es realitza un estudi sobre els possibles efectes morfodinàmics que pot generar l'increment generalitzat de les temperatures al món com a causa de les emissions de gasos d'efecte hivernacle sobre les platges encaixades en el litoral català. Per a realitzar aquesta tasca, es selecciona una platja amb una gran importància com és la Platja de Lloret.

Per tant, els objectius d'aquest treball són: l'obtenció de les projeccions d'onatge futur en el litoral català i l'estudi i l'avaluació dels efectes que generarà sobre la platja d'estudi

Primer és necessari obtenir les projeccions d'onatge que permeti l'avaluació dels canvis de tendència en les ones i, per tant, dels possibles canvis morfodinàmics en la platja. En aquest treball s'usa com a base de partida, tan per la situació actual com la futura, l'onatge forçat per la combinació de models atmosfèric regionals i globals obtinguts en el treball de Casas-Prat i Sierra (2013).

Una vegada obtingut l'onatge, es propaga fins a la zona de trencament i s'avalua els efectes que aquest produeix sobre la platja i es comparen amb els de la situació actual. En aquesta tesina, els efectes estudiats són el transport longitudinal de sediments en la costa i la basculació de la platja respecte la línia de costa.

Amb l'anàlisi de resultats, s'obté que l'onatge sofreix un canvi de tendències en les direccions, juntament amb un canvi de l'alçada d'ona, diferent segons el model usat. Això provoca un transport longitudinal i una basculació que presenten una gran variabilitat en el seu comportament.

En general, s'observa que en la situació futura l'onatge presenta un descens de l'alçada d'ona mitja juntament amb un augment de les freqüències d'onatges del sector NE-E, i una variació de les freqüències dels onatges S-S0. També s'observa un augment del transport longitudinal cap al sud, això provoca que, per una banda, la platja es recolzi més en l'extrem meridional i que a més, la seva rotació disminueixi.

Paraules claus: Platja encaixada, canvi climàtic, projeccions d'onatge, transport longitudinal, basculació de platges, morfodinàmica.

Effects of the climatic changes in embayed beaches in Catalonia

Author: Miquel Gost Amengual

Tutors: Joan Pau Sierra Pedrico, Mercè Casas i Prat, Vicente Gracia Garcia

ABSTRACT

In this graduation thesis, a study has been conducted about the morphodynamic effects that can be generated by the general increase of temperatures around the world as a consequence of the greenhouse gases emission on embayed beaches in the Catalan coast. To fulfill this task, we have selected a beach with a great importance such as the Beach of Lloret.

Therefore, the objectives of this thesis are: the obtainment of projections of the future wave climate in the Catalan coast and the evaluation of the effects that will be generated on the studies beach.

Firstly, it is necessary to obtain the projections of wave parameters that allow the evaluation of the tendency changes in waves, and so the possible morphodynamic changes on the beach. In this thesis, as start point for present and future situations, waves obtained from the combination of atmospheric regional and global models are used. They were obtained in the paper from Casas-Prat and Sierra (2013).

Once the wave climate is obtained, it is propagated to the surf zone and the effects that those waves produce on the beach are evaluated and compared to the present situation. In this thesis, the studied effects are the longitudinal transport of sediments in the seashore and the tilting of the beach with respect to the seashore line.

With the analysis of results, it is shown that waves suffer a change in the frequency of the directions, along with a change in the wave height, different for each used model. This produces a longitudinal transport and a shoreline fluctuation that presents a big variability in its behavior.

In general, it is observed that in the future situation, waves present a decrease in the average wave height together with an increase in the frequency of the NE-E waves, and a variation of the frequencies of the S-SW waves. An increase in the longitudinal transport southwards is also obtained producing that, on one side the beach leans back more on the southern extreme and also that its rotation decreases.

Key words: Embayed beach, climatic change, wave projections, longitudinal transport, shoreline fluctuation, morphodynamics.

ÍNDIX

1. INFORMACIÓ GENERAL	10
1.1. Introducció.....	10
1.2. Aproximació al problema	10
1.3. Objectius	11
2. ANTECEDENTS	12
2.1. Canvi climàtic	12
2.1.1. Introducció.....	12
2.1.2. Causes.....	12
2.1.3. Prediccions de futur.....	14
2.2. Efectes del canvi climàtic sobre el mar	16
2.2.1. Efectes del canvi climàtic sobre l'àmbit costaner	16
2.2.2. Efectes del canvi climàtic sobre l'onatge de la costa catalana	19
3. ZONA D'ESTUDI	22
3.1. Caracterització de la platja d'estudi.....	22
3.1.1. Situació geogràfica.....	22
3.1.2. Descripció general	23
3.1.3. Hidrodinàmica	25
3.1.4. Dinàmica litoral.....	25
4. CONJUNT DE DADES INICIALS.....	27
4.1. Generació de l'onatge en aigües profundes	27
4.1.1. Obtenció del node	27
4.1.2. Característiques de les projeccions d'onatge	27
4.2. Conjunt de dades SIMAR-44	28
4.2.1. Introducció.....	28
4.2.2. Node utilitzat	29
5. METODOLOGIA.....	30
5.1. Simplificació de la zona d'estudi	30
5.2. Tractament de les dades inicials	31
5.2.1. Obtenció Taules de Contingència	31
5.2.2. Direccions efectives de la platja	32
5.3. Propagació de l'onatge fins a l'alçada de trencament	33
5.3.1. Introducció.....	33
5.3.2. Teoria lineal d'onatge	34
5.3.3. Obtenció de l'alçada de trencament	35
5.4. Càlcul del sumatori vectorial dels onatges	36

5.5.	Càlcul del transport de sediments longitudinal i de les roses litorals	38
5.5.1.	Transport de sediments longitudinal	38
5.5.2.	Roses litorals	41
5.6.	Canvis morfològics de les platges	42
5.6.1.	Introducció	42
5.6.2.	Càlcul de la forma en planta en platges encastades	42
6.	PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS	45
6.1.	Roses d'onatge dels models	45
6.2.	Primera aproximació als canvis en el transport longitudinal	48
6.2.1.	Model HIR_E	49
6.2.2.	Model RAC_E	50
6.2.3.	Model REM_E	52
6.2.4.	Model RCA_E	53
6.2.5.	Model RCA_H	55
6.2.6.	Variacions dels angles de la suma vectorial entre períodes i models	56
6.2.7.	Variacions dels mòduls de la suma vectorial entre períodes i models	57
6.3.	Càlcul del transport longitudinal i de les Roses Litorals	58
6.3.1.	Càlcul del transport longitudinal dels models	58
6.3.2.	Validesa del model HIPOCAS i de la boia de Blanes	59
6.3.3.	Càlcul de les Roses Litorals per a cada model i situació	60
6.4.	Canvis morfològics en planta de les platges	65
6.4.1.	Basculació de la línia de platja	65
6.4.2.	Canvis en el basculament de la platja	69
7.	CONCLUSIONS	76
8.	BIBLIOGRAFIA	79

RECULL DE FIGURES

Figura 1. Concentracions de gasos d'efecte hivernacle (Laboratori d'investigació de la NOAA)	13
Figura 2. Emissions de gasos d'efecte hivernacle a Catalunya (OCCC, febrer 2014)	14
Figura 3. Evolució de les emissions de gasos d'efecte hivernacle a Catalunya (OCCC, 2011)	14
Figura 4. Previsions en les emissions de gasos d'efecte hivernacle segons l'escenari (IPCC,2007)	15
Figura 5. Esquema dels principals factors que afecten a l'ecosistema costaner (Coastal system and low lying-aereas, 2007)	16
Figura 6. Reaccions químiques provocades per l'acidificació del mar (University of Maryland)	16
Figura 7. Variació de la temperatura de l'aigua en la costa catalana (OCCC,2011)	18
Figura 8. Variació de les precipitacions a Catalunya (OCCC,2011)	18
Figura 9. Tendència de variació anual del nivell del mar.....	19
Figura 10. Evolució temporal de la freqüència de les tempestes en la costa catalana Josep Enric et al,2010).....	20
Figura 11. Percentatges de variació en la freqüència direccional de l'onatge per a l'any 2100 a l'hivern (esquerra) i a l'estiu (dreta) (Casas-Prat i Sierra, 2013).....	20
Figura 12. Situació de la Platja de Lloret en el tram 16 (Llibre Verd de la Costa Catalana, 2010)	22
Figura 13. Imatge aèria de la Platja de Lloret (ICC, 2012)	23
Figura 14. Mostra de sorra de la Platja de Lloret	24
Figura 15. Corba granulomètrica de la sorra de la Platja de Lloret (Llibre Verd de la Costa Catalana,2010)	24
Figura 16. Batimetria de Blanes i Lloret de Mar (Cartes nàutiques)	24
Figura 17. Roses de les alçades i dels períodes de la boia de Blanes (Llibre Verd de la Costa Catalana,2010)	25
Figura 18. Transport long. en la costa de Lloret calculat amb el CERC (Llibre Verd de la Costa Catalana,2010)	25
Figura 19. Transport long. en la costa de Lloret calculat amb Kamphuis (Llibre Verd de la Costa Catalana,2010)	26
Figura 20. Nodes o punts SIMAR-44 per a la regió mediterrània (Puertos del Estado).....	29
Figura 21. Càlcul de les direccions efectives de l'onatge en la Platja de Lloret.....	32
Figura 22. Mòdul de la suma vectorial del model HIR_E en la situació present i futura	37
Figura 23. Esquematzació de la Platja de Lloret i del transport longitudinal	38
Figura 24. Rosa Litoral del model HIPOCAS	41
Figura 25. Càlcul de l'amplada mitja de la Platja de Lloret sense efectes de basculació presents (ICC,2009)	44
Figura 26. Rosa d'onatges del model HIPOCAS	45
Figura 27. Rosa d'onatges del model HIR_E en la situació present (esquerra) i futura (dreta)	45
Figura 28. Rosa d'onatges del model RAC_E en la situació present (esquerra) i futura (dreta)	46
Figura 29. Rosa d'onatges del model REM_E en la situació present (esquerra) i futura (dreta).....	47
Figura 30. Rosa d'onatges del model RCA_E en la situació present (esquerra) i futura (dreta)	47
Figura 31. Rosa d'onatges del model RCA_H en la situació present (esquerra) i futura (dreta)	48
Figura 32. Variació en la direccionalitat de la suma vectorial segons $H^2 \cdot T$ del model HIR_E	50
Figura 33. Variació en la direccionalitat de la suma vectorial segons $H^2 \cdot T$ del model RAC_E	51
Figura 34. Variació en la direccionalitat de la suma vectorial segons $H^2 \cdot T$ del model REM_E	53
Figura 35. Variació en la direccionalitat de la suma vectorial segons $H^2 \cdot T$ del model RCA_E	54
Figura 36. Variació en la direccionalitat de la suma vectorial segons $H^2 \cdot T$ del model RCA_H.....	55
Figura 37. Comparació d'angles de la suma vectorial segons $H^2 \cdot T$ respecte a la platja	56
Figura 38. Comparació angles de la suma vectorial segons $H^2 \cdot T$ entre models en la situació futura.....	57
Figura 39. Comparació dels mòduls de la suma vectorial entre modes i períodes	57

Figura 40. Rosa Litoral del model HIR_E.....	60
Figura 41. Rosa Litoral del model RAC_E.....	61
Figura 42. Rosa Litoral del model REM_E.....	62
Figura 43. Rosa Litoral del model RCA_E.....	63
Figura 44. Rosa Litoral del model RCA_H	64
Figura 45. Esquematització de la situació inicial de la Platja de Lloret	66
Figura 46. Basculació resultant en la situació actual del model RE_E	66
Figura 47. Basculació resultant en la situació futura del model REM_E	67
Figura 48. Basculació resultant en la situació actual del model RCA_H	68
Figura 49. Basculació resultant en la situació futura del model RCA_H.....	68
Figura 50. Transport longitudinal any a any en la situació actual (REM_E).....	71
Figura 51. Funció acumulada del transport en la situació actual (REM_E)	71
Figura 52. Transport longitudinal any a any en la situació futura (REM_E)	72
Figura 53. Funció acumulada del transport en la situació futura (REM_E)	72
Figura 54. Transport longitudinal any a any en la situació actual (RCA_H)	74
Figura 55. Funció acumulada del transport en la situació actual (RCA_H).....	74
Figura 56. Transport longitudinal any a any en la situació futura (RCA_H).....	75
Figura 57. Funció acumulada del transport en la situació futura (RCA_H).....	75

Recull de taules

Taula 1. Criteris en la selecció dels escenaris (IPCC, 2007)	15
Taula 2. Previsió del PH del mar (Harrould-Kolieb i Savitz)	17
Taula 3. Coordenades de la Platja de Lloret	22
Taula 4. Coordenades del node utilitzat de la malla costanera (Casas-Prat i Sierra,2013)	27
Taula 5. Abreviatures dels models utilitzades en la tesina	28
Taula 6. Coordenades del node utilitzat del conjunt SIMAR-44 (Puertos del Estado)	29
Taula 7. Taula de contingència del model RAC_E per a la situació present.	31
Taula 8. Taula de contingència del model RAC_E per a la situació futura.....	31
Taula 9. Procés detallat del càlcul del ventall d'angles incidents	33
Taula 10. Alçades mínimes de l'onatge que mobilitzen el sediment segons la direcció d'incidència	40
Taula 11. Càlcul dels paràmetres de la funció Gumbel del model REM_E	43
Taula 12. Càlcul del període associat a l'altura d'ona donan del model REM_E	44
Taula 13. Variacions dels mòduls i angles en la sumes vectorials en el model HIR_E.....	49
Taula 14. Variacions dels mòduls i angles en la sumes vectorials en el model RAC_E	50
Taula 15. Variacions dels mòduls i angles en la sumes vectorials en el model REM_E	52
Taula 16. Variacions dels mòduls i angles en la sumes vectorials en el model RCA_E	53
Taula 17. Variacions dels mòduls i angles en la sumes vectorials en el model RCA_H	55
Taula 18. Variació del transport longitudinal	58
Taula 19. Variació del transport longitudinal (valors mitjans)	58
Taula 20. Càlcul del transport longitudinal segons diferents models (Llibre Verd de la Costa Catalana) ..	59
Taula 21. Períodes de les mostres de dades	60
Taula 22. Variació del transport longitudinal del model REM_E i RCA_H	65
Taula 23. Càlcul any a any del transport longitudinal en el model REM_E	70
Taula 24. Any a any del transport longitudinal en el model RCA_H	73

1. INFORMACIÓ GENERAL

1.1. INTRODUCCIÓ

Un dels principals motors econòmics de l'Estat espanyol, i concretament de Catalunya és el turisme estival. Aquest turisme, procedent del centre i del nord d'Europa ve a les costes catalanes en la cerca de temperatures més càlides i de platges de sorra on poder passar l'estiu a la vora del Mar Mediterrani.

Per tant, una preservació de les platges en un estat òptim generarà una opinió favorable dels usuaris de la platja i d'aquesta manera, assegurar-se que la seva estança no serà la darrera, contribuint en una empenta en l'economia del municipi i del país.

Concretament, el municipi d'estudi de Lloret de Mar compta amb unes de les platges més atractives de la Costa Brava, la Platja de Lloret, resguardada entre sortints rocosos i rodejada de petites cales i platges a ambdós costats.

Aquesta platja sovint necessita moviments de sorra per a compensar la basculació de la platja en un dels seus extrems, ja que fins ara, totes les altres mesures estabilitzadores han fracassat. A causa de la importància d'aquesta platja, és fonamental conèixer el seu comportament futur per així poder comprovar si els efectes negatius s'incrementaran, es mantindran o disminuiran i poder actuar amb suficient antelació per a mitigar-los.

1.2. APROXIMACIÓ AL PROBLEMA

El canvi climàtic i les seves conseqüències és un tema que ha sorgit amb molta força recentment i, en conseqüència, s'han realitzat molts d'estudis d'una temàtica que fins aleshores era desconeguda per a la gran majoria.

L'augment de la presència dels gasos d'efecte hivernacle en l'atmosfera està provocant un canvi en les temperatures, que desemboca en una variació del nivell del mar, dels onatges i de les direccions dels vents.

Per tant, és de preveure que l'onatge incident en les platges variarà i, per això, es necessitarà un model que permeti avaluar aquest canvi. Per a realitzar aquesta tasca ens basem en el treball de Casas-Prat i Sierra (2013) que tracta de la combinació de models de circulació atmosfèrica globals (GCMs) de baixa resolució i models regionals (RCMs) d'alta resolució per la realització de simulacions d'onatge. S'han utilitzat 5 combinacions de GCMs i RCMs cedits per 5 institucions europees que han facilitat les dades al laboratori d'Enginyeria Marítima per realitzar la recerca.

La variació de les característiques de l'onatge provocarà dues conseqüències principals en les característiques morfodinàmiques de les platges: un canvi del transport longitudinal del sediment en les platges obertes que provocarà l'erosió d'aquestes i un canvi de la basculació en les platges encastades.

El transport longitudinal de sediments és causat per la incidència obliqua de l'onatge sobre la platja, que tant pot provocar una erosió de la platja com una acreció, tot depenent de les circumstàncies, com la presència d'espigons.

La basculació de les platges és un fet característic de les platges encastades, al tenir aquestes el transport longitudinal limitat, el seu volum de sorres es manté i, per tant, els moviments de sediments només tenen lloc dins la mateixa platja, és a dir, la platja tendeix a recolzar-se o a bascular sobre un o sobre l'altre extrem, tot depenent del onatge incident.

Per tant, realitzar un estudi sobre la basculació d'una platja resulta interessant per diversos motius:

- La gran majoria de platges tenen un ús recreatiu. Això significa que és necessari tant una amplada màxima com una amplada mínima per a que les persones en puguin fer un ús satisfactori. Una basculació molt elevada pot fer que es produeixin els dos casos alhora.
- Les platges encastades entre formacions rocoses o espigons poden arribar a bascular tant que l'ample de la platja en un dels dos extrems superi la longitud de l'estructura i es produeixi una pèrdua de sorra.
- Existeixen certes platges que tenen l'objectiu de protegir certes estructures cabdals com per exemple, les vies d'un tren que passi a prop de la costa. Una basculació de la platja podria produir una disminució de l'ample i, per tant, una disminució de l'efecte mitigador de les tempestes que les platges tenen.
- El mateix efecte que l'anterior podria passar amb les platges urbanes d'ús recreatiu, on existeixen construccions com hotels o passeigs marítims, que amb una amplada menor de platja podrien quedar desprotegits davant tempestes molt energètiques.

1.3. OBJECTIUS

A partir del treball realitzat on es presenten unes prediccions realitzades a partir de diferents combinacions de models sobre els canvis d'onatge en la Costa Catalana per a finals de segle (darrers 30 anys) (Casas-Prat i Sierra, 2013) aquesta tesina vol determinar si el canvi en l'onatge en la zona de la Platja de Lloret, provocarà canvis en el transport longitudinal de sediments i si aquests canvis en el transport, provocaran canvis en la basculació de la platja.

2. ANTECEDENTS

En aquest capítol es revisaran els conceptes i estudis previs que resulten clau per a la contextualització d'aquest treball.

2.1. CANVI CLIMÀTIC

2.1.1. INTRODUCCIÓ

- Què s'entén per clima?

Estrictament el clima és el conjunt de les condicions atmosfèriques pròpies d'una regió que condicionen la vida, tant animal com vegetal. Es defineix el clima d'una època com les condicions atmosfèriques d'una regió durant un període de 30 anys, raó per la qual en el present treball s'utilitzi aquest període de temps.

Les condicions atmosfèriques depenen de dos tipus de variables : les intrínseques i les extrínseques. Les intrínseques estan formades per les interaccions entre atmosfera - oceà o biosfera - atmosfera i no poden ser modificades. Les extrínseques inclouen tant les variables climàtiques tals com temperatura, precipitació, vent, pressió, humitat i nuvolositat; com les variables antropogèniques tals com la emissions de gasos a l'atmosfera o el consum d'energia.

- Què és el canvi climàtic?

El clima no és un fenomen estàtic, sempre està en continua evolució i canvi. El clima de la terra ha anat variant de forma natural al llarg dels seus 4500 milions d'anys. El clima actual data aproximadament de fa 11.000 anys, però hi ha evidències científiques de les variacions climàtiques extremes a les que s'ha vist sotmès el planeta en les que es van alternant períodes de glaciacions amb períodes de temperatures més càlides.

El canvi climàtic del qual es parla actualment és conseqüència directa i indirectament de l'activitat humana, la qual altera la composició de l'atmosfera i s'afegeix a la variabilitat natural que presenta el clima amb el temps. Aquest canvi atmosfèric repercuteix en els cinc subsistemes : atmosfera, hidrosfera, criosfera, litosfera i biosfera.

2.1.2. CAUSES

Els principals causants del canvi climàtic són els anomenats gasos d'efecte hivernacle. Aquets gasos retenen part de l'energia emesa i impedeixen la seva sortida de l'atmosfera. Això ocasiona un acumulació d'energia que es tradueix en un augment de la temperatura.

Els principals causants són el diòxid de carboni (CO₂), metà (CH₄), vapor d'aigua, l'òxid de nitrogen (NO₂), els clorflourcarbonats i l'ozó. Tots ells són elements que es troben de forma natural en l'atmosfera, però en els últims anys han augmentat molt.

En la Figura 1 es poden observar els promitjos mundials de les concentracions de gasos d'efecte hivernacle més importants des de 1979 fins a les estimacions més properes. Com es pot observar, tots els elements tenen tendència a anar augmentant la seva concentració en l'atmosfera.

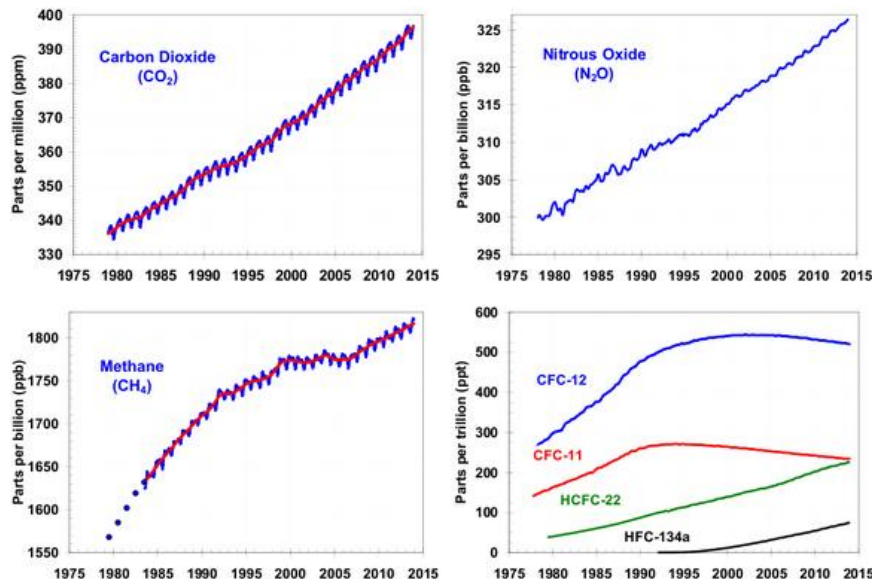


FIGURA 1. CONCENTRACIONS DE GASOS D'EFFECTE HIVERNACLE (LABORATORI D'INVESTIGACIÓ DE LA NOAA,2012)

- Diòxid de carboni

El diòxid de carboni (CO_2) és un gas incolor, inodor, i no tòxic que actua com a nutrient de les plantes i com regulador de la temperatura. Com es pot observar en la Figura 2 el diòxid de carboni és el gas de efecte hivernacle més important pel que fa a quantitats de emissió en el territori de Catalunya. (Oficina Catalana del Canvi Climàtic. Febrer 2014).

Majoritàriament, el CO_2 emès a l'atmosfera prové de la combustió de combustibles fòssils i processos industrials, així com canvis en els usos del sòl tals com la desforestació. Al ser el gas més abundant, és el que serveix de guia per a l'estudi de les possibles conseqüències de l'efecte hivernacle, sense oblidar els efectes dels altres gasos.

- Metà

El metà i altres compostos organo-volàtils també tenen importància en el canvi climàtic. El metà prové de la descomposició anaeròbica bacteriana en zones humides, de fermentacions, dels processos de descomposició de matèria orgànica en abocadors i depuradores, i de la combustió de combustibles fòssils (en menor grau que el CO_2).

- Òxids de Nitrogen

Els òxids de nitrogen es troben majoritàriament en 3 estructures químiques diferents: NO_2 , NO i N_2O . Els primers sofreixen una oxidació fotoquímica en l'atmosfera que després es mescla amb la pluja formant el que es coneix com a pluja àcida. El darrer s'associa a altres elements formant nitrats i nitrats que cauen amb la pluja. Aquests òxids provenen majoritàriament de l'agricultura i minoritàriament dels combustibles fòssils.

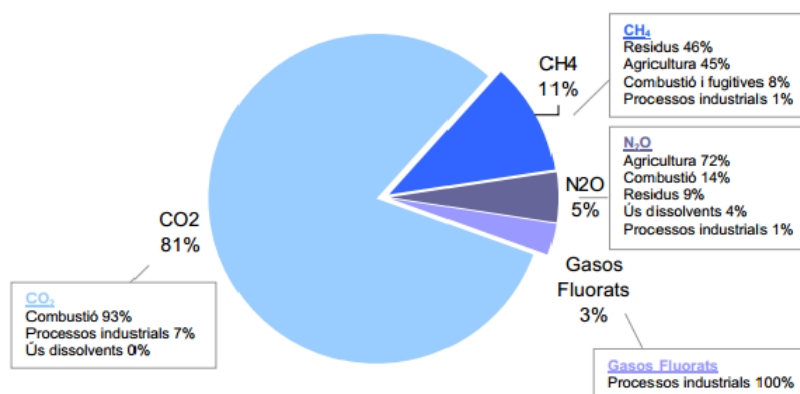


FIGURA 2. EMISSIONS DE GASOS D'EFFECTE HIVERNACLE A CATALUNYA (GECCC, FEBRER 2014)

En la Figura 3 s'observa l'evolució en les emissions de gasos d'efecte hivernacle a Catalunya des de l'any 1990 fins 2011. En el gràfic s'observa que la tendència en el passat era la d'augmentar les emissions, mentre que en els darrers anys es veu un manteniment i fins i tot una baixada molt poc pronunciada. En el cas dels gasos fluorats, al 2001 hi va haver una baixada de les emissions molt brusca, degut a la legislació dels límits en l'ús d'aquets productes per part de la indústria.

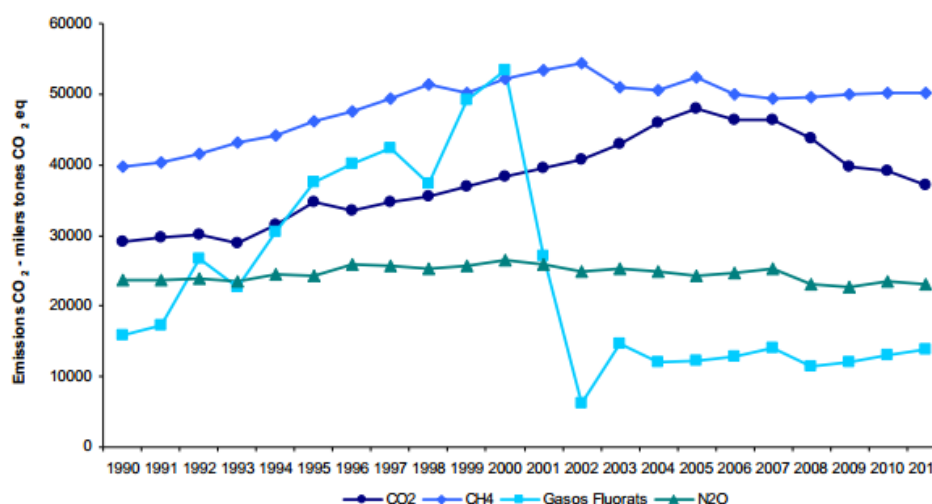


FIGURA 3. EVOLUCIÓ DE LES EMISSIONS DE GASOS D'EFFECTE HIVERNACLE A CATALUNYA (GECCC, 2011)

2.1.3. PREDICCIONS DE FUTUR

Tot i que fins ara la tendència que s'observa és que els gasos d'efecte hivernacle augmentin any rere any des de la inclusió de la industrialització en les nostres vides, per dur a terme una bona planificació i prevenció s'hauria de conèixer amb exactitud com evolucionarà el clima en el futur. Per tal de poder orientar els estudis es fan un seguit de prediccions i suposicions que van ser publicades en el tercer (TAR) i el quart (AR4) informe d'avaluació de l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

Els dos aspectes que serveixen de base per a dividir els escenaris són la futura focalització econòmica o ambiental. Seguint aquests criteris es van publicar quatre escenaris possibles: A1, A2, B1 i B2 (Veure Taula 1).

	Enfocament econòmic	Enfocament ambiental
Globalització	A1	B1
Regionalització	A2	B2

TAULA 1. CRITERIS EN LA SELECCIÓ DELS ESCENARIS (IPCC, 2007)

- A1

En aquest escenari es descriu un món futur amb un ràpid creixement econòmic, una població mundial que arriba al seu màxim a meitat de segle i una ràpida introducció de noves tecnologies més eficients. A més s'estén la globalització en quant a ingressos per habitant. Aquest escenari se subdivideix en tres segons l'orientació tecnològica: ús d'energia d'origen fòssil (A1FA), ús d'energia d'origen no fòssil (A1T) i ús equilibrat dels dos tipus d'energia (A1B).

- A2

En aquest escenari es suposa un món molt heterogeni, caracteritzat per una autosuficiència i la conservació de les identitats locals. Amb una població mundial en continu creixement.

- B1

L'escenari B1 suposa el mateix creixement que l'A1, però amb una orientació a l'economia de serveis i formació, amb un ús superior de les tecnologies netes i amb un aprofitament millor dels recursos. En aquest escenari les solucions proposades són en l'àmbit global.

- B2

Finalment aquest escenari proposa un món on predominen les solucions locals, amb un augment constant de la població i un nivell de desenvolupament econòmic intermedi. Es centra fonamentalment en la protecció al medi ambient i la igualtat social

En la Figura 4 es mostren les previsions en les emissions mundials de gasos d'efecte hivernacle en absència de polítiques climàtiques addicionals a les actuals i segons cada escenari.

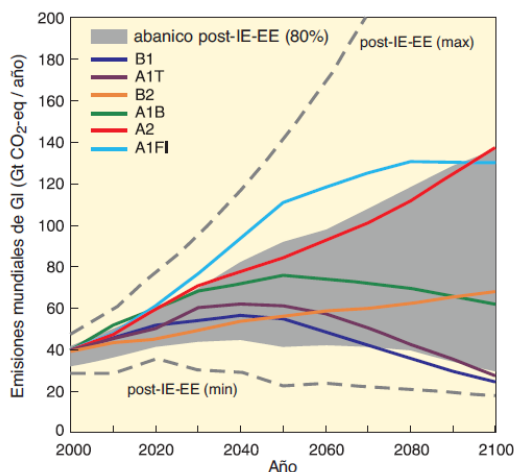


FIGURA 4. PREVISIONS EN LES EMISSIONS DE GASOS D'EFECTE HIVERNACLE SEGONS L'ESCENARI (IPCC,2007)

2.2. EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC SOBRE EL MAR

2.2.1. EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC SOBRE L'ÀMBIT COSTANER

En aquest apartat s'explicaran els canvis sobre l'ecosistema costaner que produeix l'augment dels gasos d'efecte hivernacle. En la Figura 5 s'observa un esquema dels canvis més importants. A continuació es detallen les principals causes una a una.

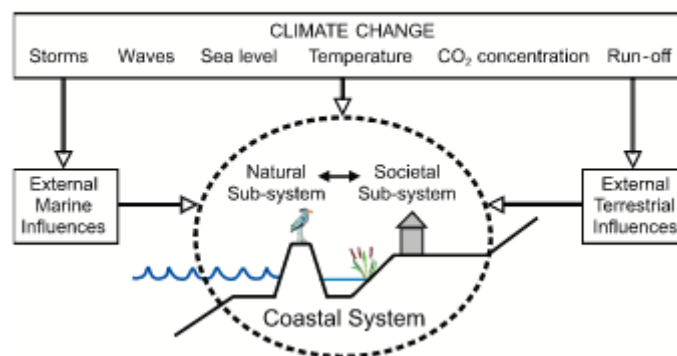


FIGURA 5. ESQUEMA DELS PRINCIPALS FACTORS QUE AFECTEN A L'ECOSISTEMA COSTANER (COASTAL SYSTEM AND LOW LYING-AERIAS, 2007)

- Acidificació.

És conseqüència de l'acumulació de diòxid de carboni en els oceans, el qual reacciona amb l'aigua alliberant ions d'hidrogen, que donen un PH àcid al mar. En la Figura 6 es poden observar les reaccions químiques amb més detall..

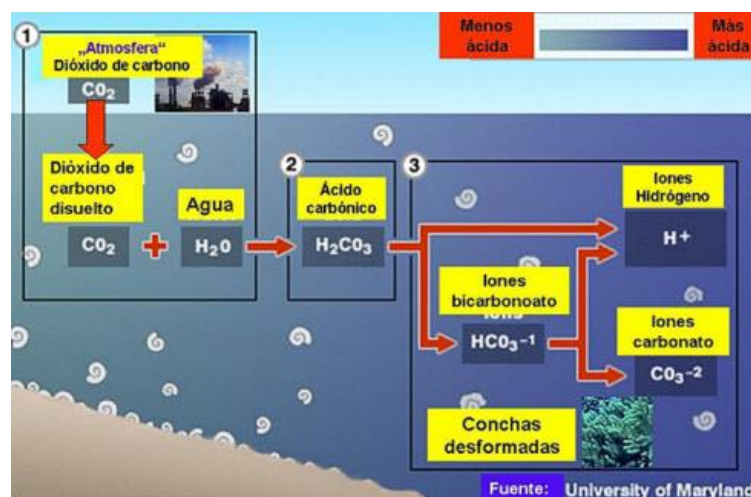


FIGURA 6. REACCIONS QUÍMIQUES PROVOCADES PER L'ACIDIFICACIÓ DEL MAR (UNIVERSITY OF MARYLAND)

La primera conseqüència de l'acidificació és que fa mal bé els ecosistemes marins i els seus organismes. De fet està demostrat que petites variacions de PH poden ser crucials per algunes espècies com mol·luscs i altres mariscs amb closca. També intervé en la calcificació dels corals, que al calcificar-se se solidifiquen i formen estructures semblants a roques.

La disminució progressiva del PH de la superfície marina és un fet provat. Tot i que va disminuint amb un pendent suau. Les previsions futures auguren la mateixa línia. Alguns dels resultats mesurats o previsibles es troben en la Taula 2, elaborada basant-se en la publicació “acidificación” de Harrould-Kolieb i Savitz.

Any	PH
1750 (pre-industrial)	8,19
2008	8,09
2020	8,03
2100	7,78

TAULA 2. PREVISIÓ DEL PH DEL MAR (HARROULD-KOLIEB I SAVITZ,2008)

- Disminució del oxigen dissolt

L'oxigen pot incorporar-se la mar des de dos llocs diferents: o bé a través de la fotosíntesi de les plantes aquàtiques, o bé a través del contacte amb l'atmosfera. L'oxigen és necessari per la vida de la majoria dels essers vius animals i vegetals aquàtics. Però en haver-hi menys oxigen en l'atmosfera i més diòxid de carboni, s'incorpora un quantitat de oxigen inferior. La principal conseqüència és que amb el temps es poden extingir espècies marines de les quals depèn el clima, i per tant cal esperar un canvi climàtic en aquestes zones.

- Augment de la temperatura

En un estat natural on l'home no intervé es produeix un equilibri de guany i pèrdua d'energia en l'atmosfera. Normalment l'energia que arriba de l'espai exterior es compensa amb l'expulsió de l'energia que s'ha format en la terra a partir de la fotosíntesi, la combustió, la radiació d'energia reflectida... Les darreres observacions parlen sobre que des del període de la industrialització s'alliberen molts més gasos a l'atmosfera, els quals impedeixen la sortida a l'espai d'altres partícules i d'energia. Les partícules i elements que s'acumulen en l'atmosfera retenen molta energia, i la seva acumulació produeix l'augment de la temperatura.

L'augment de temperatura afecta a tots els sistemes. En la Figura 7 s'observa un registre de la temperatura superficial de l'aigua de la costa Catalana durant els últims anys. S'observa un augment progressiu, el qual es preveu que continuï a no ser que s'aturi l'emissió de gasos d'efecte hivernacle.

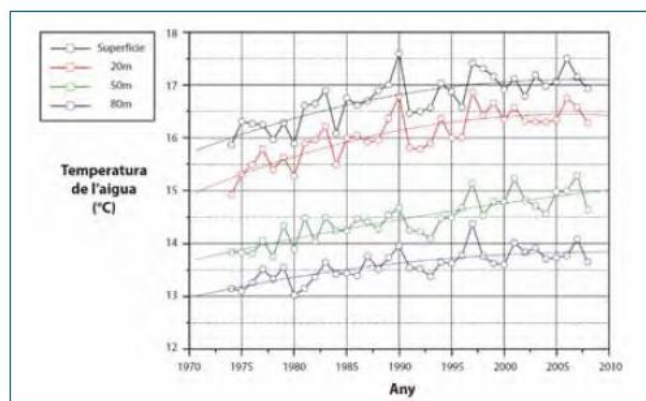


FIGURA 7. VARIACIÓ DE LA TEMPERATURA DE L'AIGUA EN LA COSTA CATALANA (GECCC,2011)

- Precipitacions

L'augment de la temperatura també provoca un augment de l'evaporació de l'aigua dels oceans, el qual indica que provocarà un augment de les precipitacions, però alhora aquestes seran més brusques i només es concentraran en zones concretes. Pel que fa al territori català es duen estudiant les precipitacions des del 1860 i, si continua igual, la tendència és a disminuir lenta però progressivament les precipitacions. Així queda reflectit en la Figura 8.

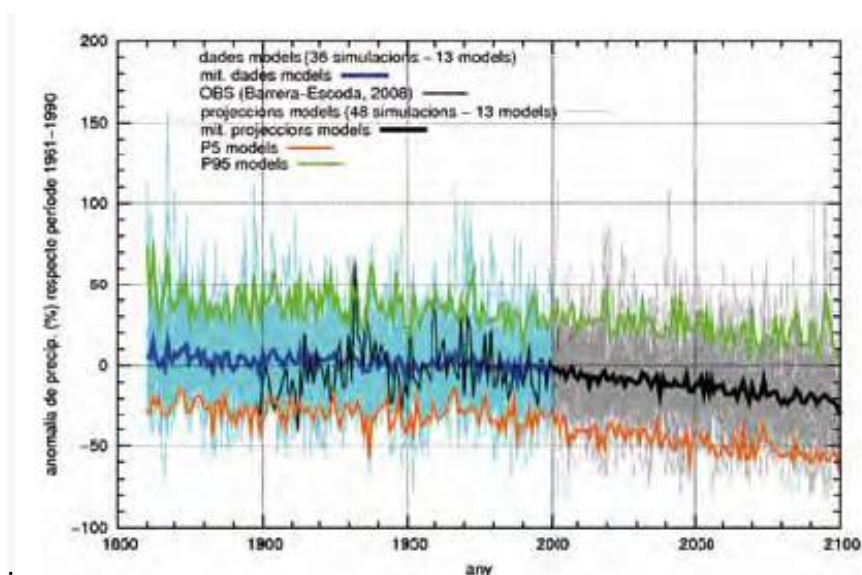


FIGURA 8. VARIACIÓ DE LES PRECIPITACIONS A CATALUNYA (GECCC,2011)

- Augment del nivell del mar

Aquest fenomen es veu condicionat per molts factors, i presenta una gran variabilitat entre diferents regions. Els factors que el condicionen són factors atmosfèrics (vent i pressió), factors estèrics, factors relacionats amb massa (desglaç dels pols) i factors de moviment (canvis de direcció, marees més pronunciades, moviments verticals d'aigua). És important tenir present que encara que ara es disminuïssin molt les emissions de gasos d'efecte hivernacle, l'augment del nivell del mar continuaria a causa de l'expansió tèrmica dels oceans.

Aquest augment pot canviar tot el litoral costaner, ja que si puja molt el nivell del mar part de la costa pot quedar submergida, les platges poden desaparèixer i els ports es pot produir una disminució en la cota de coronació dels dics. A més, a l'augmentar el nivell del mar i guanyar territori cap al interior, els pous i la agricultura es veuen afectats per l'augment de la salinitat.

En la Figura 8 es mostren les tendències de variació anual del nivell del mar a tot el planeta, corresponents al període 1992-2008. Pot apreciar-se com, en la major part del món, aquesta tendència és positiva, és a dir, el nivell del mar augmenta.

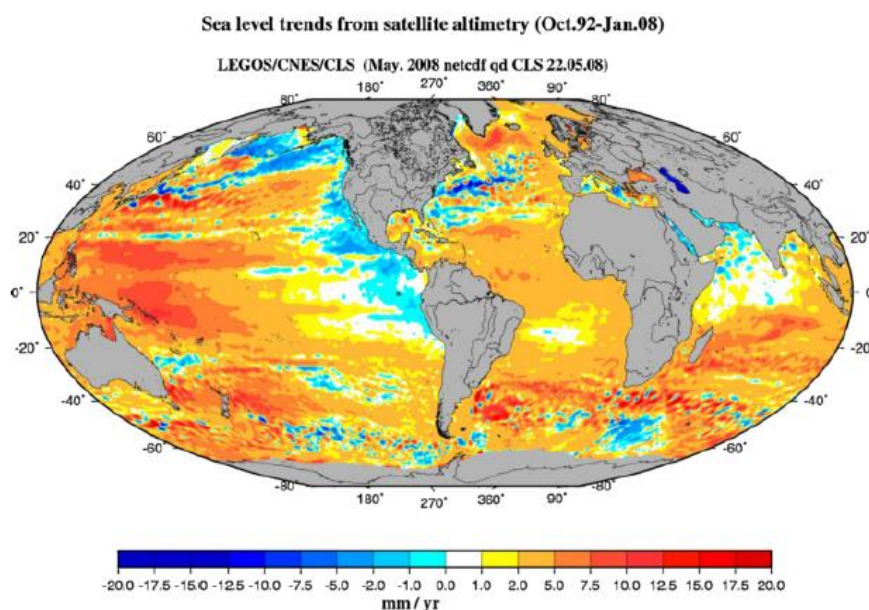


FIGURA 9. TENDÈNCIA DE VARIACIÓ ANUAL DEL NIVELL DEL MAR (IPPC,2008)

2.2.2. EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC SOBRE L'ONATGE DE LA COSTA CATALANA

En aquest apartat es parlarà de les conseqüències del canvi climàtic centrades en com afecten a l'onatge. Ja s'ha parlat de la temperatura, com efecte principal i generador d'una reacció en cadena a l'onatge. A continuació s'explicaran els efectes directament relacionats amb l'onatge: canvi de l'altura de les ones i canvi en la direcció de les ones.

- Canvi en l'altura i la direcció de les ones

El canvi d'aquestes dues variables afecta principalment a l'agitació de l'aigua. Es preveu un augment de la freqüència dels temporals i un canvi en la direcció i de l'onatge. Com a conseqüència d'una major agitació de l'aigua es dificultaran les accions que s'han de portar a terme dins dels ports tals com atracament, operacions de càrrega i descàrrega o de permanència en el port. En les platges l'agitació pot provocar un opacament (per increment de la turbulència) superficial de l'aigua que impedeixi o

difficultat l'arribada de l'energia solar necessària per a la fotosíntesi de les plantes, a llarg termini pot variar la flora i fauna de la zona.

En la Figura 10 s'observa l'evolució temporal de la freqüència anual de temporals amb la predicció fins el 2050 mitjançant un anàlisi de tendències del model HIPOCAS.

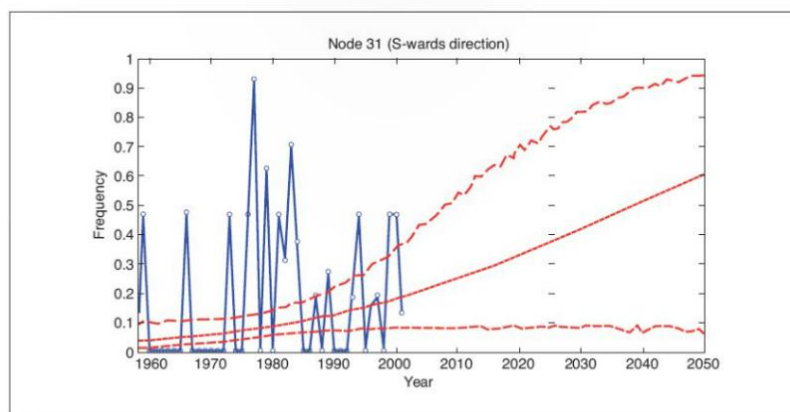


Figura 12. Evolució temporal de la freqüència anual de les tempestes del sector S. Extrapolació a l'any 2050. Es mostren els intervals de confiança del 95 %.

FIGURA 10. EVOLUCIÓ TEMPORAL DE LA FREQÜÈNCIA DE LES TEMPESTES EN LA COSTA CATALANA(GECCC,2010)

La variació de les direccions i les alçades de l'onatge a causa del canvi climàtic es presenten en la Figura 11.

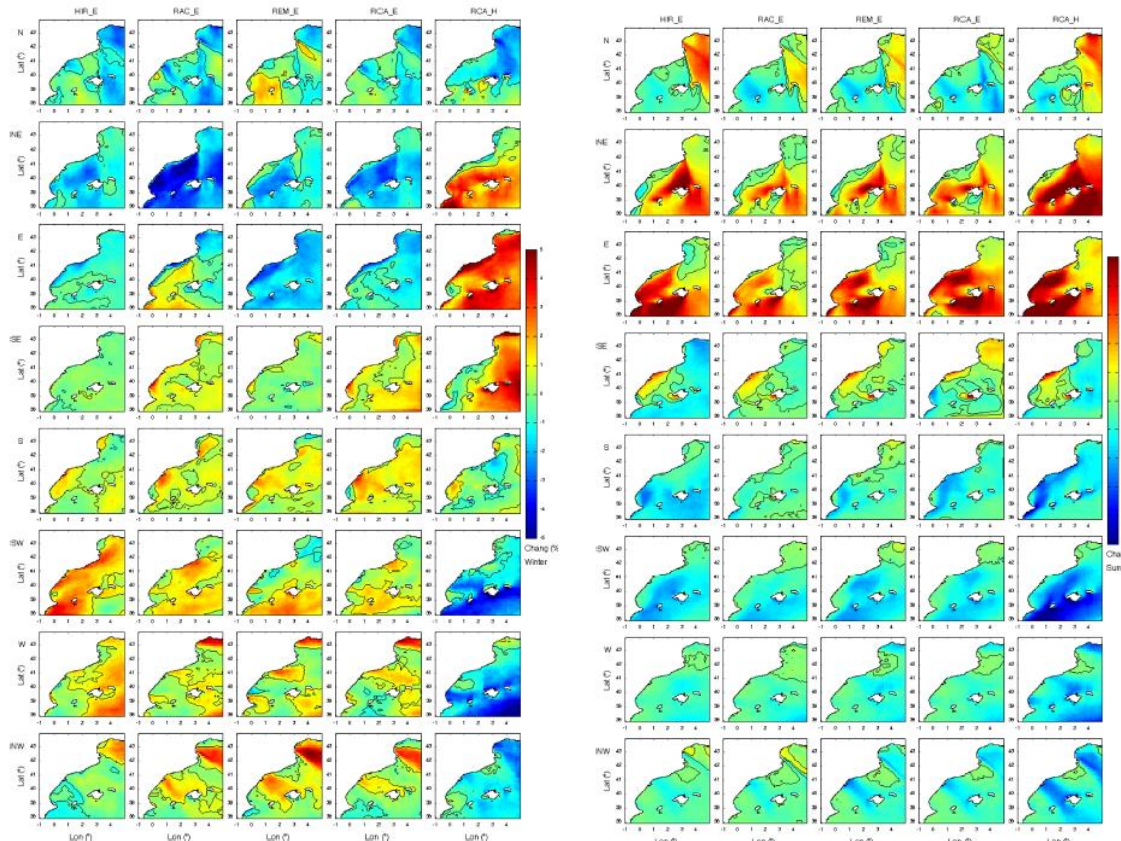


FIGURA 11. PERCENTATGES DE VARIACIÓ EN LA FREQÜÈNCIA DIRECCIONAL DE L'ONATGE PER A L'ANY 2100 A L'HIVERN (ESQUERRA) I A L'ESTIU (DRETA) (CASAS-PRAT I SIERRA, 2013)

L'estudi conclou que hi ha un descens general de l'altura d'ona en el clima mig relacionada amb una reducció de la força del vent en la majoria de l'àrea del Mediterrani estudiada. Certs models, no obstant, reflecteixen un augment dels valors extrems d'ones. Les característiques de l'onatge durant l'estiu mostra diferents patrons que a l'hivern. Això és causat pels diferents processos involucrats en l'atmosfera i pels efectes tèrmics com els gradients de temperatura entre el mar i la costa.

En general i per les 2 estacions estudiades (hivern i estiu) els màxims canvis d'altura d'ona es troben al voltant del 10% per condicions mitjanes mentre que en clima extrem aquestes variacions poden arribar al 20%.

En quan a la direccionalitat, els cinc models mostren patrons similars per a l'estiu. En canvi per a l'hivern, el quatre models regionals forçats mitjançant el model ECHAM5 (HIR_E, RAC_E, REM_E i RCA_E) mostren un increment de les freqüències de l'onatge O i NO (especialment en el Golf de Lleó i el Delta de l'Ebre) de fins al 5%, i, en menor mesura, un increment de l'onatge S i SO (especialment al Delta de l'Ebre i en la zona central del litoral català). Per contra, el model RCA_H mostra un increment significatiu de tots els onatges del sector E, de fins el 6%. Aquestes diferències podrien ser a causa de treballar amb diferents models globals.

3. ZONA D'ESTUDI

3.1. CARACTERITZACIÓ DE LA PLATJA D'ESTUDI

La planificació i gestió d'una platja són processos dinàmics, els quals es veuen alterats amb el transcurs del temps. És important preveure, amb més o menys precisió, els possibles canvis que es produiran en una zona concreta, i els factors involucrats, per tal de poder predir les conseqüències derivades d'aquesta evolució i dur a terme una correcta gestió. Però aquesta és una feina complexa, en la qual intervenen multitud de factors: morfològics, ambientals, hidrodinàmics ... En aquest apartat es descriu i caracteritza la Platja de Lloret de Mar en el moment actual a partir de les dades publicades en els capítols i annexos del Llibre Verd de la costa catalana (CIIRC, 2010), amb l'objectiu de que aquesta informació serveixi de base per l'estudi posterior.

3.1.1. SITUACIÓ GEOGRÀFICA

La Platja de Lloret es localitza dins la província de Girona, més concretament en el municipi de Lloret de Mar. Es troba en el tram costaner número 16 de la costa Gironina (segons l'estudi fet en el Llibre Verd de la costa catalana, 2010) el qual compren entre el Port de Blanes i La Llosa des Llevador. Les coordenades de la platja s'indiquen en la Taula 3:

Latitud	Longitud
41° 41' 55,32" N	2° 51' 2,55" E

TAULA 3. COORDENADES DE LA PLATJA DE LLORET

En la Figura 12 es pot veure el lloc exacte del Tram 16 de la costa de Girona en la qual es troba la platja de l'estudi, i la Figura 13 correspon a la imatge aèria de la mateixa.

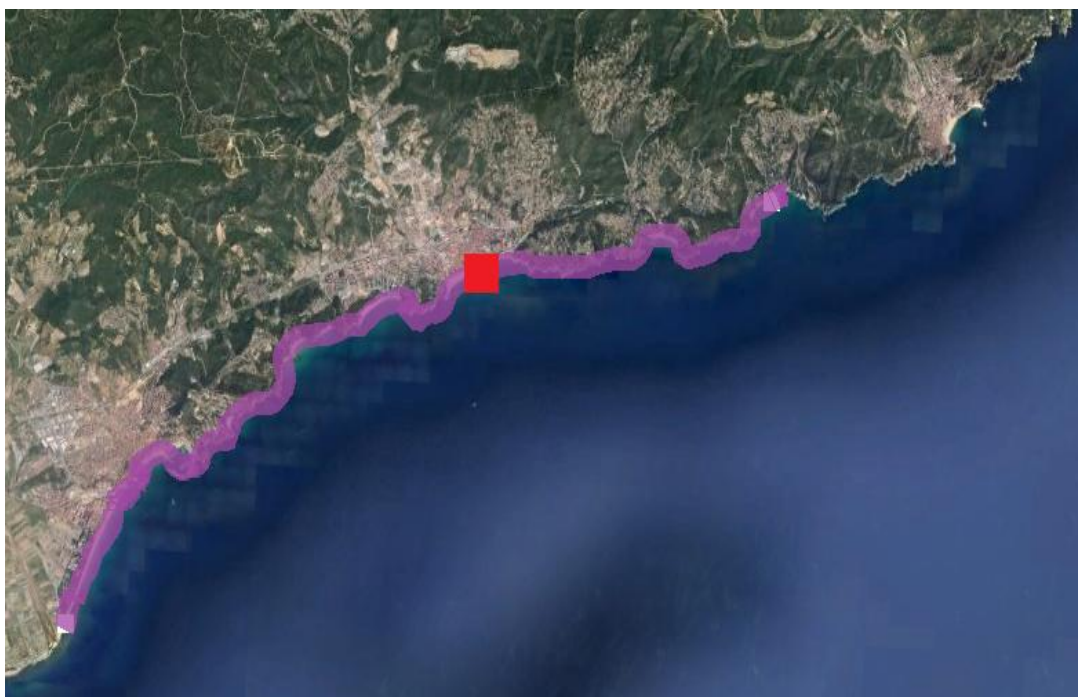


FIGURA 12. SITUACIÓ DE LA PLATJA DE LLORET EN EL TRAM 16 (LLIBRE VERD DE LA COSTA CATALANA, 2010)



FIGURA 13. IMATGE AÈRIA DE LA PLATJA DE LLORET (ICC, 2012)

3.1.2. DESCRIPCIÓ GENERAL

- Aspectes ambientals

L'ús principal de la platja és recreatiu/turístic, tot i que també s'hi duen a terme altres activitats nàutiques i esportives. La platja manca de sistema dunar, el qual va ser substituït per el passeig marítim i els aparcaments.

La Platja de Lloret és una de les que més necessitat té de que s'hi realitzin operacions de anivellament cada any, i molts cops es produeixen desperfectes a causa dels temporals per causa d'una amplada insuficient. Per tot això l'ajuntament té un sistema de planificació i gestió concret de aquesta platja inclòs en l'agenda local XXI.

- Morfologia de la platja

Es tracta d'una platja encaixada o encastada. La Platja de Lloret té una longitud de 1419 m, els quals poden dividir-se en dos trams: un principal que es troba paral·lel al passeig marítim amb una longitud de 1050 m, basculat cap al sud, amb una orientació mitjana de 60° cap al nord; i un secundari localitzat a un extrem de la platja amb una alineació mitjana a la línia de costa diferent. Per simplificar els càlculs la tesina només estudia el tram principal i s'obvia el secundari. L'amplada està compresa entre els 97 i els 5 metres, amb una amplada mitjana de 24 m. La superfície total de la platja és de uns 53428m².

- Perfil

La pendent de l'estrany (la zona delimitada entre la baixamar i la plenamar) és de 0.15/0.13/0.13 (en la zona sud, centre i nord respectivament). La profunditat de tancament és de 7,6 m.

- Granulometria

La platja està formada totalment per sorra. Un 85,5% del total del sediment són grànuls de sorra gruixats (Veure figures 14 i 15) i la resta es tracten de grànuls de sorra més fins. Per el que fa a la caracterització del sediment, la d_{50} és de 1,46 mm amb una desviació estàndard de 0,60 mm.



FIGURA 14. MOSTRA DE SORRA DE LA PLATJA DE LLORET

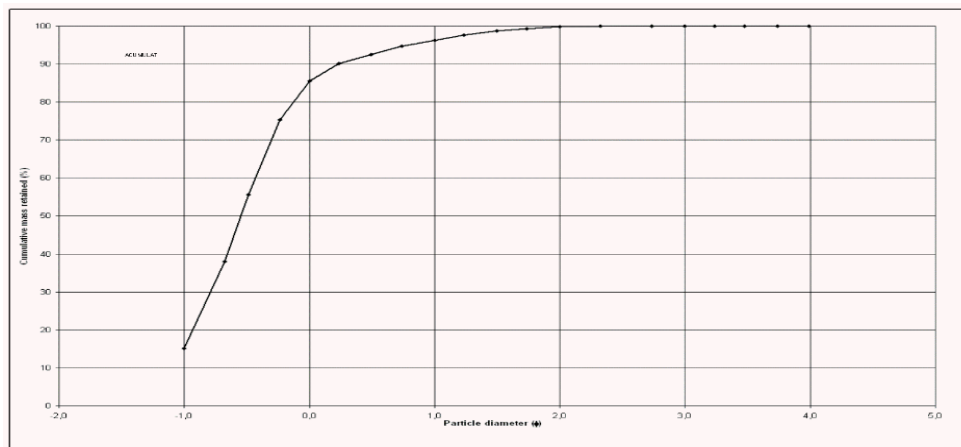


FIGURA 15. CORBA GRANULOMÈTRICA DE LA SORRA DE LA PLATJA DE LLORET (LLIBRE VERD DE LA COSTA CATALANA, 2010)

- Batimetria

En la Figura 16 es mostra la batimetria de la Platja de Lloret i rodalies. El pendent en aquest sector és del 0,15, un valor una mica elevat, però per una altra banda, típic de les platges de la Costa Brava.



FIGURA 16. BATIMETRIA DE BLANES I LLORET DE MAR (CARTES NÀTIQUES)

3.1.3. HIDRODINÀMICA

- Rosa d'onatge

La rosa d'onatge és una representació gràfica de la direcció de procedència de les ones, de la seva intensitat i de la seva freqüència d'aparició. Per a la platja objecte d'estudi correspon la rosa d'onatge obtinguda de la boia de Blanes, la qual s'observa en la Figura 17. Per aquesta àrea geogràfica, l'alçada mitjana de l'ona és de 0,69 m, sent l'alçada d'ona màxima registrada de 5,28 m; i un període pic mig de 6,2 s, sent el màxim igual a 14,6 s.

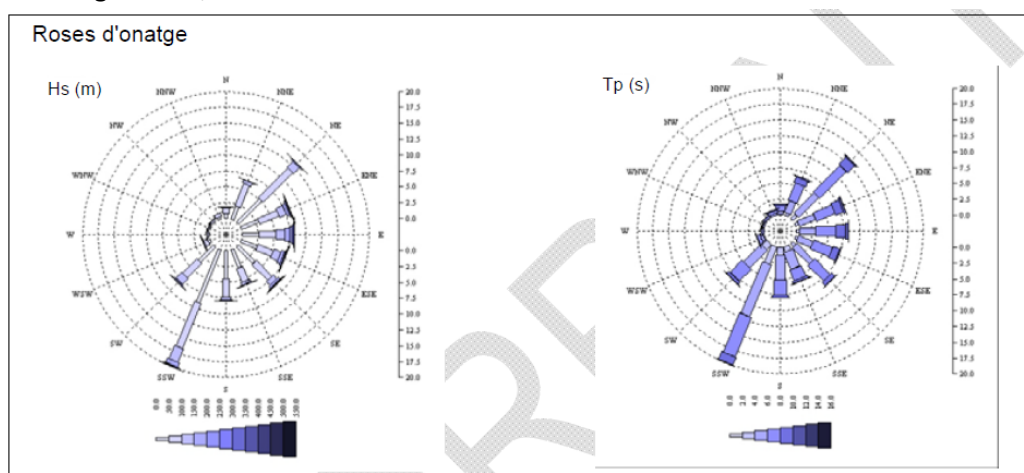


FIGURA 17. ROSES DE LES ALÇADES I DELS PERÍODES DE LA BOIA DE BLANES (LLIBRE VERD DE LA COSTA CATALANA,2010)

3.1.4. DINÀMICA LITORAL

- Transport de sediments

Per l'estudi del transport dels sediments en el tram 16 es fa servir la taxa de transport longitudinal, la qual es pot mesurar a partir de dos models: el model CERC i el model Kamphuis. Els dos es basen en 3 factors: la orientació de la línia a la vora de la costa, la granulometria i el pendent.

A la Figura 18 es mostra la taxa de transport longitudinal neta calculada amb el model de CERC. El volum total de sediments transportats és de 6.800 m³/any en direcció sud.

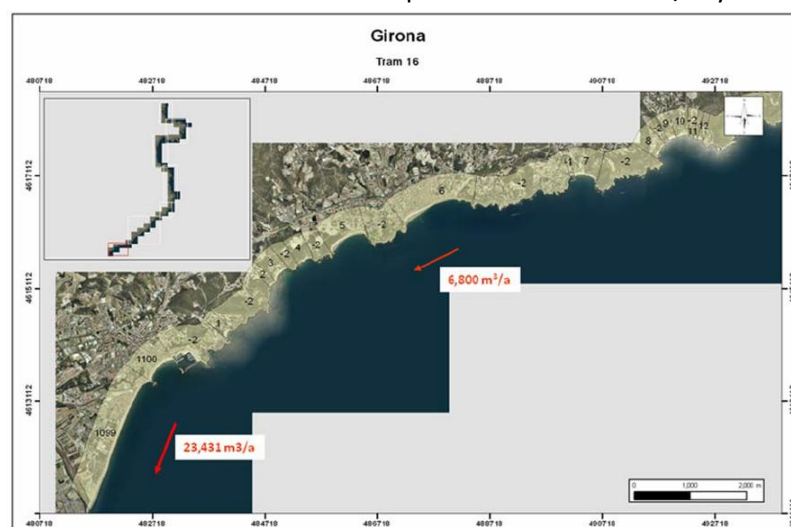


FIGURA 18. TRANSPORT LONG. EN LA COSTA DE LLORET CALCULAT AMB EL CERC (LLIBRE VERD DE LA COSTA CATALANA,2010)

A la Figura 19 es mostra la taxa de transport longitudinal neta calculada amb el model de Kamphuis. El volum total de sediments transportat és de $24.500 \text{ m}^3/\text{any}$ en direcció sud.

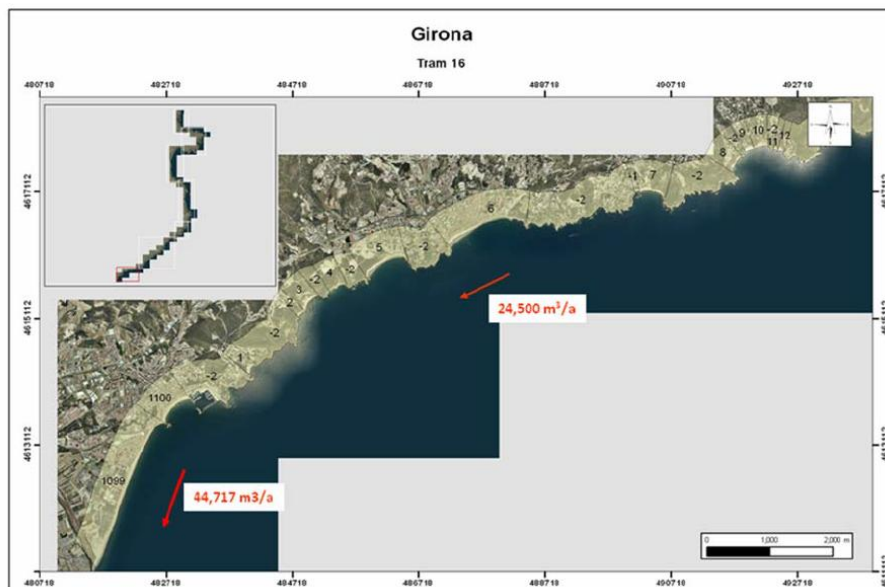


FIGURA 19. TRANSPORT LONG. EN LA COSTA DE LLORET CALCULAT AMB KAMPHUIS (LLIBRE VERD DE LA COSTA CATALANA, 2010)

Per tant, és factible assumir que el transport en la platja d'estudi és de nord a sud i que l'ordre de magnitud, encara que sigui difícil d'acotar, serà de l'ordre dels $10.000 \text{ m}^3/\text{any}$. Per una altra banda, aquest fet coincideix amb la basculació generalitzada de la platja (normalment recolzada en el sud) i amb el transport longitudinal de sediments general en la costa catalana que és de nord a sud, igual que en la nostra platja.

- Estat evolutiu

Per una altra banda, i degut a l'absència del sistema dunar per la construcció del passeig marítim sobre ell, la Platja de Lloret sofreix un retrocés de $0,48 \text{ m/any}$ de la seva amplada mitja i una erosió mitja de $-3,17 \text{ m/any}$ com a conseqüència dels efectes dels temporals sobre la costa. Aquest fet provoca que si la platja està molt basculada i el retrocés és important, l'efecte dissipador de les platges en l'onatge de les tempestes es redueix i fa que les ones més energètiques irrompin dins la zona urbana.

4. CONJUNT DE DADES INICIALS

4.1. GENERACIÓ DE L'ONATGE EN AIGÜES PROFUNDES

En aquest apartat s'explica la procedència de l'onatge en aigües profundes com a resultat de la combinació de 5 models regionals i globals.

4.1.1. OBTENCIÓ DEL NODE

El node obtingut pertany a la malla utilitzada per a la generació de l'onatge del treball Casa-Prat i Sierra (2013). Aquesta està subdividida en dues malles més: una exterior amb una resolució de 0,5º per el mar Mediterrani i una costanera i més precisa que inclou tot el litoral català i illenc amb una resolució de 0,125º.

Per a la realització d'aquest treball s'utilitza un node de la malla complementària de resolució 0,125º, ja que aquest node resultar ser el més pròxim a la platja d'estudi. El node en qüestió (a partir d'ara s'anomena com a Node 1) es mostra en la Taula 4.

Platja	Node	Latitud	Longitud
Lloret de Mar	1	41,625º N	2,875º E

TAULA 4. COORDENADES DEL NODE UTILITZAT DE LA MALLA COSTANERA (CASAS-PRAT I SIERRA, 2013)

4.1.2. CARACTERÍSTIQUES DE LES PROJECCIONS D'ONATGE

L'objectiu de la generació de l'onatge en aigües profundes és simular, mitjançant la combinació d'una sèrie de models tan globals com regionals, l'onatge actual i futur.

Aquesta simulació d'onatge és important per dues raons principals: la verificació del bon funcionament de les combinacions dels models a través de la comparació de l'onatge que donen aquests amb l'onatge enregistrat a les boies presents i, per una altra banda, l'obtenció de l'onatge futur i de les seves variacions amb l'actual gràcies a les projeccions que els models permeten.

Les dades que s'han utilitzat en aquesta tesina són els onatges obtinguts en treball de Casas-Prat i Sierra (2013), el qual es basa en dades obtingudes a partir de combinacions de models atmosfèrics globals (GCMs) i regionals (RCMs).

S'utilitzen les projeccions de quatre models regionals distints. Aquesta informació s'ha aconseguit gràcies a la cessió de les dades per part de les següents institucions europees:

- HIRHAM5: Danmarks Meteorologiske Institut
- RACMO2: Koninklijk Nederland Meteorologisch Instituut
- REMO: Max-Planck-Institut für Meteorologie
- RCA3: Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut

Aquests models han estat forçats amb el model global ECHAM5 (Roeckner et al., 2003). El model RCA3 ha estat forçat també amb el model global HadCM3Q3 (Collins et al. 2001). Degut a la complexitat dels noms, la combinació dels models regionals i globals s'abreua i es reanomenen com es mostra en la Taula 5.

Abreviatures dels models	Model Global	
Model Regional	ECHAM5	HadCM3Q3
HIRHAM5	HIR_E	-
RACMO2	RAC_E	-
REMO	REM_E	-
RCA3	RCA_E	RCA_H

TAULA 5. ABREVIATURES DELS MODELS UTILITZADES EN LA TESINA

Una vegada obtinguts els resultats dels cinc models atmosfèrics (quatre models regionals amb un model global més un model regional amb un altre model global), s'utilitzen com a dades d'entrada del model d'onatge SAWN, el qual, a partir de les dades del vent, permet simular les condicions d'onatge d'una zona determinada del mar.

Emperò, és important remarcar que les projeccions d'onatge de les combinacions dels models en qüestió utilitzades, estan forçades per vents generats de models climàtics a llarga escala temporal, que no tenen la precisió de predir què passarà exactament un any o dia en qüestió, però sí en principi de descriure les característiques mitjanes d'un clima de 30 anys. És per això que es treballa amb franges temporals de 20 anys, tant per representar el clima present com el futur.

En la generació d'onatge s'han considerat dos espais de temps diferenciats. Per una banda s'ha considerat l'onatge present igual a l'inclòs entre 1971 i 2001. A excepció del model regional REMO que comprèn l'espai de temps inclòs entre 1981 i 2011 a causa de la no disponibilitat de dades en el període 1971-1980.

A més, per a l'onatge futur, fixat un horitzó a 100 anys vista i, per tant, s'ha considerat l'onatge comprès entre 2071 i 2100, a excepció de la combinació de l'onatge regional RCAE3 amb l'onatge global HadCM3Q3 que comprèn el període 2071-2099 per manca de dades del darrer any.

Per a cada un dels cinc models diferents, s'obtenen el següent tipus de dades: l'onatge cada 3 h, caracteritzat per l'altura d'ona significant (H_s), el període mig (T_m), el període pic (T_p), la direcció de l'onatge (respecte l'eix x i marcant la direcció d'avançament) i, per últim, la data en que va succeir l'onatge.

4.2. CONJUNT DE DADES SIMAR-44

4.2.1. INTRODUCCIÓ

El conjunt de dades SIMAR-44 està format per sèries temporals de paràmetres atmosfèrics i oceanogràfics procedents del modelat numèric. Són per tant, dades simulades per ordinador i no procedeixen de mesures directes de la natura.

El conjunt SIMAR-44 es constitueix a partir del modelat numèric d'alta resolució d'atmosfera, nivell del mar i onatge que cobreix tot l'entorn del litoral espanyol. La simulació d'atmosfera i nivell del mar en tot el domini del treball, així com en la simulació de l'onatge en la conca mediterrània han estat realitzades per Ports de l'Estat en el marc del projecte HIPOCAS.

La informació generada és del projecte HIPOCAS són les sèries temporals del període de 1958-2001, amb dades de l'onatge cada 3 hores.

4.2.2. NODE UTILITZAT

En la Figura 20 es mostren els punts del conjunt SIMAR-44 en el litoral mediterrani, on es senyala el node utilitzat. En la Taula 6 es mostren les coordenades del punt.

Node SIMAR-44	Latitud	Longitud
2071053	41,63° N	2,88° E

TAULA 6. COORDENADES DEL NODE UTILITZAT DEL CONJUNT SIMAR-44 (PUERTOS DEL ESTADO)

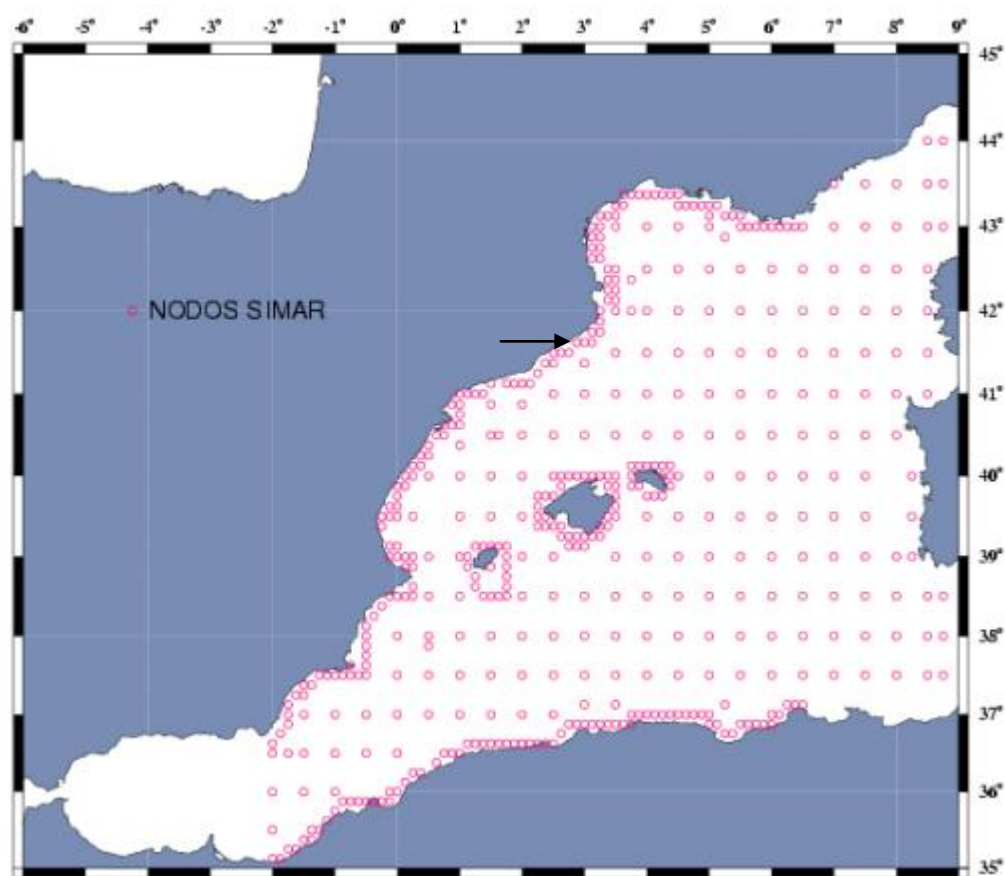


FIGURA 20. NODES O PUNTS SIMAR-44 PER A LA REGIÓ MEDITERRÀNIA (PUERTOS DEL ESTADO)

5. METODOLOGIA

Aquest apartat explica detalladament els passos seguits en l'elaboració d'aquesta tesina per tal d'entendre i validar els resultats obtinguts.

El procediment dut a terme consta de les següents parts:

- Simplificació de la zona d'estudi
- Tractament de les dades inicials
- Propagació de l'onatge fins a ruptura
- Càlcul del transport longitudinal i de les roses litorals
- Basculació de la platja a causa de l'onatge incident

5.1. SIMPLIFICACIÓ DE LA ZONA D'ESTUDI

L'objectiu d'aquesta tesina és l'estudi que pot implicar un canvi en la tendència de l'onatge a causa del canvi climàtic. Per a poder fer aquest estudi, és necessari realitzar una sèrie de simplificacions en la zona per a poder fer els càlculs pertinents. Aquestes modificacions també es comentaran en els seus apartats corresponents.

- Simplificació de la línia de costa i la batimetria

La Platja de Lloret de Mar no sol tenir una línia de platja paral·lela a la línia de costa, si no que com la majoria de platges encastades, està recolzada sobre algun dels seus extrems i aquest fet produeix que la línia de costa tingui una forma parabòlica en lloc de rectilínia. En aquesta tesina, es suposa que la línia de costa inicial és paral·lela a la línia de costa i que a més, el pendent és el mateix i les línies batimètriques són paral·leles a la costa.

- Simplificació de l'onatge incident

En l'estudi del transport longitudinal només es té en compte aquell onatge que incideixi directament sobre la platja, ja que aquest és l'únic que és capaç de transportar sediment. Emperò alguns efectes de propagació de l'onatge com el de difracció suposen que algunes direccions, que en principi no serien incidents sobre la platja, acaben afectant-la. Ja que el càlcul d'aquest onatge afegit és complicat, per a pal·liar aquest problema s'admet un ventall d'angles incidents lleugerament superior.

- Simplificació del tipus d'onatge

Com que cada model d'onatges dóna fruit a una sèrie de més de 80.000 ones diferents per la situació actual i 80.000 per a la situació futura, s'arriba a un punt que el càlcul computacional és extremadament lent. Per tant, es realitza una taula de contingència que caracteritzi l'onatge i així es pugui assumir el cost computacional.

5.2. TRACTAMENT DE LES DADES INICIALS

5.2.1. OBTENCIÓ TAULES DE CONTINGÈNCIA

Com s'ha comentat anteriorment, al tenir una quantitat ingent de dades, el més raonable és realitzar una mena de classificació de l'onatge que no generi en pèrdua de fiabilitat i així poder tractar la informació d'una manera més òptima.

Per a aquesta tasca, s'ha recorregut a les taules de contingència. Una taula de contingència classifica i agrupa l'onatge que està entre uns intervals d'altura d'ona, de direcció d'onatge i de període coneguts, com la mitjana d'aquell interval.

En aquesta tesina, l'onatge s'ha agrupat de la següent manera:

- L'alçada d'ona s'ha agrupat cada 20 cm, des de l'alçada 0 m fins a l'alçada 10 m.
- El període mig d'ona s'ha agrupat cada 2 segons, des de el període 0 s fins el període 10 s.
- Les direccions d'onatge s'han agrupat cada 10°, des de la direcció 26° fins a la direcció 195°.

D'aquesta manera, s'aconsegueix que es passi de tractar més de 80.000 dades per a cada model a només tractar-ne 5100 per model, sense perdre fiabilitat en els resultats aconseguits.

Com exemple, les Taules 7 i 8 mostren les freqüències de presentació (en valor total i no en %) de l'onatge comprés entre els 26° i els 36° de la combinació del model regional RACMO2 i el model global ECHAM5. En les taules, l'onatge comprés entre les alçades d'ona 0-0,2 m serà tractat com un onatge d'alçada 0,1 m, conseqüentment, l'onatge comprés entre el període 0-2 s serà tractat com un onatge de període 1s i així successivament.

Taula de contingència de les ones amb direccions 26-36°		Altura d'ona (m)								
		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-1.0	1.0-1.2	1.2-1.4	1.4-1.6	1.6-1.8
Període (s)	0-2	70	330	29	0	0	0	0	0	0
	2-4	0	70	397	429	268	145	69	15	6
	4-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TAULA 7. TAULA DE CONTINGÈNCIA DEL MODEL RAC_E PER A LA SITUACIÓ PRESENT.

Taula de contingència de les ones amb direccions 26-36º		Altura d'ona (m)										
		0-0.2	0.2-0.4	0.4-0.6	0,6-0,8	0.8-1.0	1,0-1,2	1,2-1,4	1.4-1.6	1.6-1.8	1.8-2.0	2.0-2.2
Període (s)	0-2	87	329	29	0	0	0	0	0	0	0	0
	2-4	0	90	423	449	290	168	66	27	20	4	0
	4-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
	6-8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TAULA 8. TAULA DE CONTINGÈNCIA DEL MODEL RAC_E PER A LA SITUACIÓ FUTURA.

Un cop conegut l'onatge és important conèixer les direccions d'incidència de l'onatge sobre el port.

5.2.2. DIRECCIONS EFECTIVES DE LA PLATJA

Com ja s'ha mencionat en l'anterior apartat, no s'agafen totes les dades d'onatge per a fer els càlculs. Això és degut a que cert onatges no interaccionen amb la platja com a conseqüència de l'orografia dels voltants de la platja. En la Figura 24 es representa el mètode usat per a l'obtenció dels angle incidents.



FIGURA 21. Càlcul de les direccions efectives de l'onatge en la platja de Lloret

Com es pot observar, es suposa com hipòtesi inicial que la platja és paral·lela a la línia de costa amb un valor de 26° respecte l'eix x (o l'est). Per tant, per a trobar els angles incidents, es dibuixen dues rectes des d'una punta de la platja fins a l'extrem orogràfic més restrictiu de la banda contrària. Aquestes dues rectes, en aquest cas, formen uns angles de 31° i de 10° respecte l'eix x. A més, s'ha de tenir en compte que, per efectes de difracció, alguns onatges que en principi no haurien d'incidir sobre la platja acaben afectant-hi. Per tant, per tenir aquest efecte en compte, es suposa que el ventall d'angles incidents és més gran ampliant en 5° el rang en ambdós extrems.

Per últim, s'obté que l'onatge incident en la Platja de Lloret de Mar és el comprés entre els angles 26 i 195°. En la taula 9 es fa un resum de l'obtenció dels angles anteriors.

Línea de costa	Rectes delimitadores	Efecte de la difracció	Càlcul	Angle resultant
26	Est			
	10	5	-5+31	26
	Oest			
	31	5	180+10+5	195

TAULA 9. PROCÉS DETALLAT DEL CàLCUL DEL VENTALL D'ANGLES INCIDENTS

Gràcies a al coneixement de les direccions incidents en la platja, es pot fer una eliminació preliminar de l'onatge que no incidirà en la platja, que correspondrà a aquell onatge comprés entre el rang de direccions menors de 26º i majors de 195º. S'ha de tenir en compte que l'angle aquí utilitzat és respecte l'eix x i en l'avançament de l'onatge.

5.3. PROPAGACIÓ DE L'ONATGE FINS A L'ALÇADA DE TRENCAMENT

5.3.1. INTRODUCCIÓ

Per a poder calcular el transport de sediments, és necessari propagar l'onatge obtingut de les dades inicials fins a ruptura, és a dir, s'ha de propagar l'onatge fins a un calat en que la interacció de l'ona amb el fons provoqui que aquesta trenqui.

Per a poder fer aquest procés, s'han considerat 5100 onatges diferents classificats segons les taules de contingència obtingudes anteriorment. En general, els processos principals que interfereixen en el procés de propagació de l'onatge són la dispersió, el shoaling, la refracció, la difracció, la reflexió i la ruptura. A continuació s'inclou una breu definició d'aquests 5 fenòmens:

- La dispersió és la descomposició d'un mateix onatge a aigües fondes, normalment degut a una tempesta, en diferents direccions i freqüències. L'onatge resultant d'aquest fenomen és el Swell.
- El shoaling consisteix en la variació de l'alçada d'ona produïda pels canvis en la celeritat de grup al variar la profunditat del mar.
- La refracció és el fenomen pel qual l'onatge tendeix a posar-se perpendicular a les línies batimètriques. La raó és el canvi de calat al llarg de la cresta de l'ona que provoca una velocitat de fase diferent, produint aquest canvi en la direcció.
- La difracció és el fenomen de curvatura dels rajos de direcció de l'onatge i de canvi de l'alçada d'ona degut a la presència d'un obstacle. Això es degut al canvi substancial de condicions d'onatge entre l'onatge incident i la zona arrecerada per l'obstacle.
- La reflexió provoca la superposició d'onatge incident i onatge reflectit degut a l'existència d'un obstacle. Aquesta reflexió de l'onatge es deu al fet de que l'energia rebotja en l'obstacle. El percentatge d'energia reflectida dependrà en part del talús de l'obstacle en qüestió: a mesura que és més vertical, la reflexió augmenta.
- La ruptura de l'onatge es produeix quan el calat es prou petit com per desestabilitzar l'ona dissipant la seva energia. De fet, a mesura que el calat disminueix, tractant-se d'aigües poc fondes, les ones tendeixen a tornar-se asimètriques, amb crestes més

elevades fins que es produeix la ruptura. Hi ha diferents criteris de ruptura del tipus: $H/h = f(m, s_0)$ on m és el pendent de fons i s_0 el peralt de l'ona en aigües profundes.

5.3.2. TEORIA LINEAL D'ONATGE

Encara que la propagació d'onatge en un fluid és un procés no lineal, la teoria lineal s'adapta a la realitat amb un grau suficient d'aproximació a nivells pràctics, tot assumint una sèrie de suposicions.

Les suposicions més importants són:

- L'onatge incident és principalment de tipus *Sea*. En la costa catalana (i en el Mediterrani), aquest tipus d'onatge sol ser el principal.
- Els períodes mig i pic de les ones romanen constants durant la propagació.

La teoria lineal considera la següent relació entre l'alçada d'ona en aigües profundes ($H_{s,0\alpha}$) i la propagada a la zona en qüestió (H_s):

$$H_s = K_s * K_R * H_{s,0\alpha}$$

on K_R és el coeficient de refracció i K_s , el coeficient de *Shoaling*.

El coeficient de refracció inclou els efectes produïts de canvi de direcció de l'onatge, tendint aquest a posar-se paral·lel a les batimètriques. Es calcula a partir de la relació entre la direcció de l'onatge en aigües fonses en relació a les batimètriques (α_0) i el mateix paràmetre en aigües somes (α):

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

Considerant que les línies batimètriques són aproximadament paral·leles entre sí i amb la línia de costa, l'angle α_0 es calcula directament com l'angle entre la direcció dels diferents onatges del clima marítim i la línia de costa. Per trobar l'angle en aigües somes, s'utilitza la llei d'Snell, que es vàlida per a costes longitudinalment uniformes i estableix la següent relació:

$$\frac{C_0}{C} = \frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha}$$

on C_0 és la velocitat de les ones en aigües profundes i C en aigües somes. Les expressions per a calcular aquestes velocitats s'expressen a continuació.

- Aigües profundes: $C_0 = \frac{gT_m}{2\pi}$
- Aigües intermèdies: $C = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh(kh)}$
- Aigües somes: $C = \sqrt{gh}$

on h és el calat, $k = \frac{2\pi}{L_m}$ el número d'ona i L_m és la longitud d'ona que es pot calcular com:

- Aigües profundes: $L_{0m} = \frac{gT_m^2}{2\pi}$
- Aigües intermèdies: $L_m = \frac{gT_m^2}{2\pi} \tanh(kh)$
- Aigües somes: $L_m = \sqrt{ghT_m^2}$

D'altra banda, el coeficient de *Shoaling* incorpora els canvis de l'alçada d'ona deguts al canvi de calat. Es pot calcular a partir de la següent expressió:

$$K_s = \sqrt{\frac{C_{g0}}{C_g}}$$

on C_{g0} i C_g són les velocitats de l'energia de les ones de, respectivament, aigües fondes i somes. Aquesta velocitat té una relació simple amb la velocitat d'ona en aquestes casos:

- Aigües profundes: $C_{g0} = \frac{C_0}{2}$
- Aigües intermèdies: $C_g = \left(1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)}\right) C$
- Aigües somes: $C_g = C$

Finalment, s'ha de comprovar que l'alçada H_s propagada és compatible amb el calat, tenint en compte les condicions de trencament. De fet, l'alçada propagada de ruptura es calcula com:

$$H_{s,prop} = H_{b,1}$$

on H_b és l'alçada de trencament. S'aplica el criteri de trencament de Thornton i Guza, que es pot definir com:.

- Criteri de trencament de *Thornton i Guza* (1983)

$$\gamma = \frac{H_{b,1}}{h}, \text{ on } \gamma = 0,60$$

És important definir en quines situacions l'onatge es situa en aigües profundes, intermèdies i somes, ja que moltes vegades les fórmules varien segons aquesta hipòtesi. Per a aquesta classificació s'utilitza les següents fórmules:

- Si $h > \frac{L_m}{2}$ l'onatge es situa en aigües fondes.
- Si $\frac{L_m}{2} > h > \frac{L_m}{20}$ l'onatge es situa en aigües intermèdies.
- Si $h < \frac{L_m}{20}$ l'onatge es situa en aigües somes.

5.3.3. OBTENCIÓ DE L'ALÇADA DE TRENCAMENT

Per últim, per a realitzar la propagació de l'onatge fins al trencament, és necessari obtenir el calat crític en el qual l'onatge trenca (com s'ha comentat en l'apartat anterior) i així obtenir l'alçada d'ona de trencament.

Per això, és necessari resoldre l'equació $H_{s,prop} = H_{b,1}$, resolució no trivial ja que la solució no és analítica. Es fa necessari utilitzar un mètode d'avaluació de ceros de funció i en aquest cas s'ha empleat el mètode de la secant.

El mètode de la secant s'utilitza per a trobar el ceros d'una funció de forma iterativa. Per a fer aquesta tasca, aproxima la pendent de la recta que uneix la funció avaluada en el punt d'estudi i en el punt de la iteració anterior. El seu cost computacional no és molt elevat i si les aproximacions inicials són bones, el nombre d'iteracions tampoc és elevat.

El mètode es defineix per la relació de recurrència:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{x_n - x_{n-1}}{f(x_n) - f(x_{n-1})} f(x_n)$$

Com s'ha mencionat, el mètode necessitarà dues aproximacions inicials de l'arrel per a poder calcular la pendent inicial.

Per últim, és necessari seleccionar una tolerància per al mètode, en aquesta tesina la solució s'ha considerat com idònia quan:

$$|x_{n+1} - x_n| \leq 10^{-2}$$

És a dir, quan l'error absolut és menor al centímetre. D'aquesta manera s'ha aconseguit reduir el cost computacional de la propagació sense perdre informació important en el procés.

5.4. CÀLCUL DEL SUMATORI VECTORIAL DELS ONATGES

Conèixer la direcció predominant i la magnitud dels episodis tempestuosos és una eina útil que pot resultar útil alhora de preveure canvis en el transport longitudinal de sediments en la costa. Encara que la majoria de l'onatge genera un cert transport longitudinal de sediments, és en els episodis tempestuosos que aquest fet es multiplica i s'agreuja. Per tant, resulta interessant generar un procés en el que aquesta informació es quedi reflectida.

Per a poder fer això, primerament s'eliminen totes aquelles ones que es considerin com a soroll. En aquesta tesina el procés realitzat ha estat el següent:

- Primerament s'ordena l'onatge procedent de la combinació dels models de major a menor.
- Per a cada combinació dels models, s'agrupen els onatge en percentils. Des del percentil 95% fins al 75%.
- Per a cada percentil, es realitza una suma vectorial que permeti, a més d'obtenir una direcció, obtenir un mòdul que permeti realitzar comparacions.

En aquest cas, es fixa que el sumatori vectorial sigui en funció d' H , H^2 i $H^2 \cdot T$, tenint especial rellevància el terme $H^2 T$, ja que incorpora els dos paràmetres importants de l'onatge. El mètode utilitzat per a realitzar el càlcul vectorial és:

$$SUMA VECTORIAL = \sum_{i=1}^N (\overrightarrow{H_{s,l}}, \overrightarrow{H_{s,l}^2}, \overrightarrow{H_{s,l}^2 \cdot T_{m,l}})$$

Situant l'inici de les coordenades en el punt (x,y)=(0,0), com a mostra d'exemple es té que el mòdul en funció d'H²T del model HIR_E és igual als valors indicats en la Figura 22.

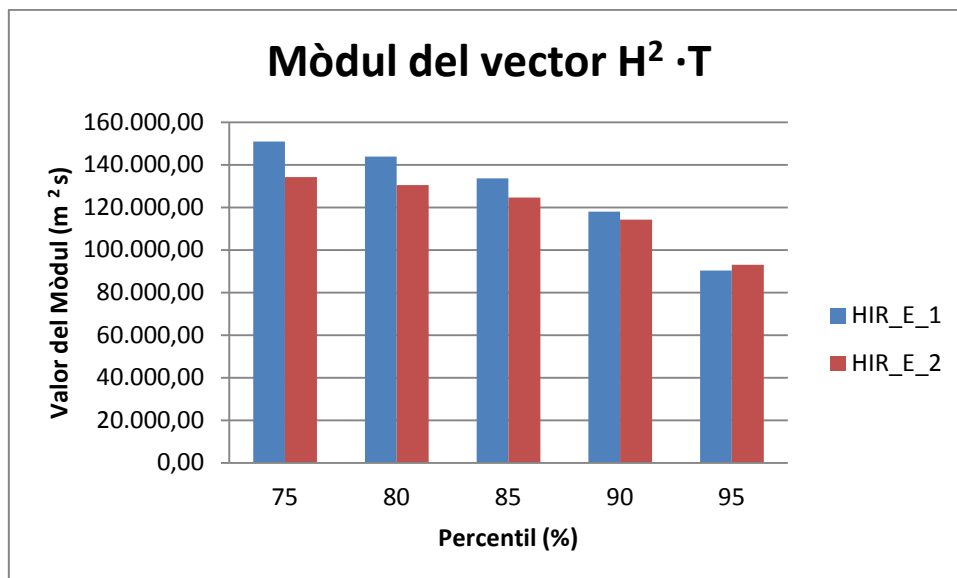


FIGURA 22. MÒDUL DE LA SUMA VECTORIAL DEL MODEL HIR_E EN LA SITUACIÓ PRESENT I FUTURA

Per últim, és necessari realitzar una interpretació dels resultats obtinguts. En la Figura 23 es representa un esquema de la zona on es realitza el treball. Per tant, si el sumatori vectorial d'un onatge resulta que queda recollit dins la zona marcada amb el signe "+", el seu transport longitudinal tendirà cap al nord, mentre que a la inversa si queda recollit en la zona "-" el seu transport longitudinal tendirà cap al sud.

Encara que aquest procés no dóna cap mena d'informació sobre el valor total del transport, sí que resulta útil per a comprovar canvis de tendències en el transport entre models o entre períodes de temps diferents, a través de l'estudi dels canvis d'angles i dels canvis dels mòduls.

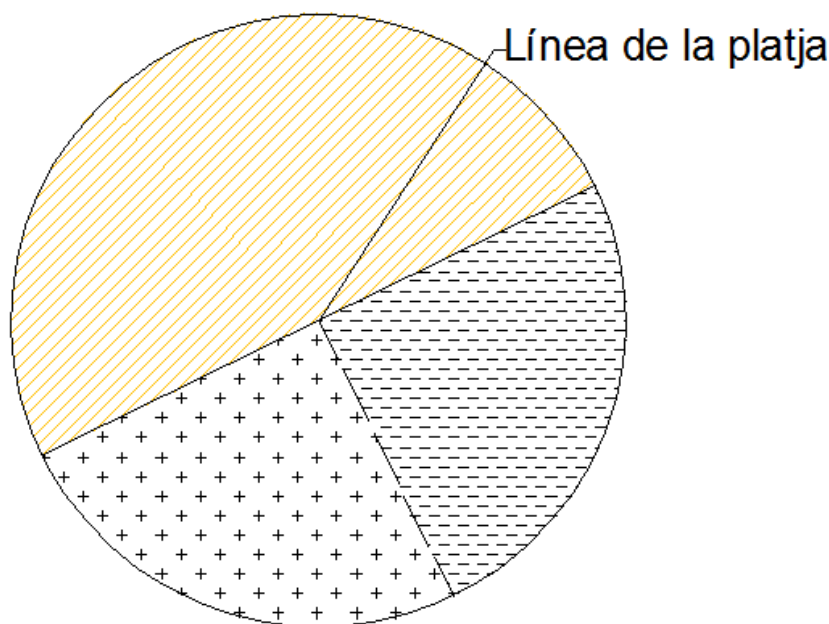


FIGURA 23. ESQUEMATITZACIÓ DE LA PLATJA DE LLORET I DEL TRANSPORT LONGITUDINAL

5.5. CÀLCUL DEL TRANSPORT DE SEDIMENTS LONGITUDINAL I DE LES ROSES LITORALS

5.5.1. TRANSPORT DE SEDIMENTS LONGITUDINAL

5.5.1.1. CÀLCUL DEL TRANSPORT DE SEDIMENTS LONGITUDINAL

El transport longitudinal de sediments es produeix paral·lel a la línia de costa i es degut, en part, a l'acció de l'onatge. Aquest transport es produeix fonamentalment a la zona de ruptura de l'onatge. Per estimar el transport longitudinal s'usa l'equació del CERC. L'equació del CERC es basa en la suposició que la component longitudinal del flux d'energia en la zona de trencament és la encarregada del transport de sediments longitudinal.

L'equació del flux d'energia s'aproxima mitjançant la suposició de la conservació de l'energia fins a la zona de trencament (*Surf zone*). Per a onatges amb la cresta de l'ona paral·lela a la línia de costa s'obté que:

$$\bar{P} = \bar{E} \cdot c_g = \frac{\rho g}{8} H^2 \cdot c_g$$

Si la cresta de l'onatge té un cert angle amb la línia de costa, el flux d'energia en la direcció d'avançament de l'ona per unitat de longitud de la platja és:

$$\bar{P} \cdot \cos\alpha = \bar{E} \cdot c_g = \frac{\rho g}{8} H^2 \cdot c_g \cdot \cos\alpha$$

I la component longitudinal de l'anterior equació ve donada per:

$$P_l = \bar{P} \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha = \bar{E} \cdot c_g = \frac{\rho g}{8} H^2 \cdot c_g \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha$$

Que aplicant la relació trigonomètrica $\cos\alpha \cdot \sin\alpha = \frac{1}{2}\sin 2\alpha$ s'obté finalment que:

$$P_l = \frac{\rho g}{16} H^2 \cdot c_g \cdot \sin 2\alpha$$

Per últim, en la zona de trencament $H = H_b$ i per la teoria lineal, a l'estar en aigües somes $c_g = c$. Per tant, finalment el flux d'energia longitudinal en la zona de trencament ($P_{l,b}$) és igual a:

$$P_{l,b} = \frac{\rho g}{16} H_b^2 \cdot c \cdot \sin 2\alpha_b$$

El flux d'energia per a calcular el transport longitudinal de sediments es basa en la relació empírica entre la component longitudinal del flux d'energia de l'onatge en la zona de trencament ($P_{l,b}$) i el pes submergit de sediment transportat (I_l) per un coeficient adimensional K . L'equació resultant és igual a:

$$P_{l,b} = \frac{1}{K} \cdot I_l$$

Per una altra banda, el transport longitudinal de sediments en la zona de trencament (Q) es relaciona amb el pes submergit de sediment transportat mitjançant la següent equació:

$$Q = \frac{I_l}{(\rho_s - \rho_w)g(1 - p)}$$

Per tant, el transport de sediments longitudinal és igual a:

$$Q = \frac{K \cdot P_{l,b}}{(\rho_s - \rho_w)g(1 - p)}$$

on K és el paràmetre adimensional, ρ_s la densitat dels sediments, ρ_w la densitat de l'aigua i p la porositat dels sediments. De manera habitual es pren: $p = 0,4$, $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ i $\rho_w = 1026 \text{ kg/m}^3$. A la Costa Catalana s'estima que el valor de la constant de CERC és $K = 0,39$.

Finalment, l'equació anterior és vàlida si només es té un tren d'ones idèntic durant tota la mostra. Com aquest cas mai es dona, és necessari utilitzar un altre mètode per a calcular el transport. En aquest apartat s'han usat les taules de contingència (amb 5100 onatges diferents) per a poder facilitar la tasca.

S'agrupen els onatges propagats en les taules mencionades i després es realitza el sumatori següent:

$$VOL_{TOTAL} = \sum_{i=1}^N Q_i \cdot \frac{N_i}{N_{TOTAL}}$$

on VOL_{TOTAL} són els m^3 anuals de sediment transportat, Q_i i N_i són el transport i el nombre de dades de l'onatge i , i N_{TOTAL} és el nombre de dades total de la mostra.

5.5.1.2. CÀLCUL DE L'ALÇADA D'ONA MÍNIMA

Un altre aspecte important en el càlcul del transport longitudinal és determinar l'alçada d'ona mínima necessària per a mobilitzar el sediment. Encara que l'equació del CERC no tingui en compte aquest aspecte, és necessita una energia mínima per a poder mobilitzar el sediment de les platges.

Per això, és usual eliminar l'onatge menys energètic (aquell onatge amb una alçada menor) ja que la gran quantitat de mostres presents d'aquestes alçades pot generar un càlcul del transport erroni. Per a fer aquesta tasca s'ha empleat el mètode *Threshold for significant transport* (*Shore Protection Manual, 1984*).

Aquest mètode obté prèviament que el cabal longitudinal mínim per a produir la mobilització del sediment (R_c) és igual $3,71 \text{ m}^3/\text{s}$ mitjançant mètodes empírics i per una altra banda calcula que el cabal longitudinal en la zona de trencament produït per un onatge concret és igual a:

$$R = V \cdot X_b \cdot H_b \geq R_c$$

on:

- $V = 1,35 \cdot u \cdot \sin 2\alpha$ (Velocitat mitja del corrent longitudinal)
- $u = 0,5 \cdot H_b \cdot \sqrt{\frac{g}{h}}$ (Velocitat orbital màxima)
- $X_b = \frac{H_b}{\gamma \cdot \tan(\beta)}$ (Màxima distància entre la línia de costa i la zona de trencament)
- β és el pendent de la platja.

Igual que en l'apartat de la propagació, la solució no és analítica i s'utilitza el mètode de la secant per a obtenir la solució. Aquest mètode és vàlid per a platges amb fons plans i amb un sediment mitjà igual als 2 mm. En la Taula 10 es mostren les alçades d'ona obtingues segons la direcció:

Direcció onatge	Alçada mínima
36-46	H< 0,69
46-56	H< 0,45
56-66	H< 0,38
66-76	H< 0,35
76-86	H< 0,34
86-96	H< 0,35
96-106	H< 0,38
106-116	H< 0,45
116-126	H< 0,69
126-136	H< 0,69
136-146	H< 0,45
146-156	H< 0,38
156-166	H< 0,35
166-176	H< 0,35
176-186	H< 0,38
186-196	H< 0,45

TAULA 10. ALÇADES MÍNIMES DE L'ONATGE QUE MOBILITZEN EL SEDIMENT SEGONS LA DIRECCIÓ D'INCIDÈNCIA

Com que la Platja de Lloret té un sediment una mica inferior s'acaba suposant unes alçades una mica inferiors a les obtingudes.

5.5.2. ROSES LITORALS

Les Roses Litorals (també conegudes com roses del transport longitudinal) són una eina molt útil per a la interpretació del transport longitudinal al llarg d'una costa on la curvatura és suau i les corbes de nivell són bastant paral·leles a la línia de costa (Walton, 1972; Walton i Dean, 1973).

Aquesta eina permet extreure una sèrie de conclusions d'una manera ràpida gràcies a la gran quantitat d'informació gràfica que aporta. El mètode que s'utilitza per a generar una rosa del litoral és el següent:

- 1- Es crea una rosa en coordenades nàutiques (0° N, 90° E) i es situa la línia de costa que es suposa com una recta.
- 2- Es subdivideix la rosa en diferents seccions regulars que tinguin el mateix angle (en aquesta tesina trams de 10°).
- 3- Es calcula el transport longitudinal de l'onatge inclòs en cada tram i es representa el seu valor en la rosa.
- 4- Per últim, s'uneixen els punts de tots els onatges inclosos.

Una mostra el resultat obtingut es pot observar en la Figura 24:

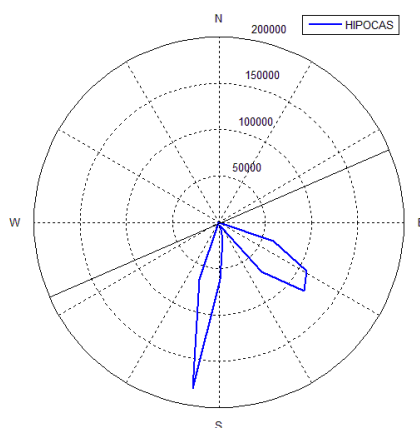


FIGURA 24. ROSA LITORAL DEL MODEL HIPOCAS

Al ser un mètode molt gràfic, les Roses Litorals donen molta informació de ràpida interpretació. Les avantatges de la rosa són:

- 1- Permet observar quines són les direccions d'onatge que generen un transport longitudinal de sediments més important i a més, permet quantificar el sediment transportat.

- 2- Genera dues àrees diferenciades, que són les responsables del transport de sediments d'un sentit i de l'altre, i per tant, permet identificar quin serà el sentit en el que és mobilitzarà el sediment més assíduament.
- 3- Permet calcular el transport longitudinal de sediments total mitjançant la diferència d'àrees.
- 4- Per últim, dóna una idea general del comportament de la platja referent a la seva basculació.

5.6. CANVIS MORFOLÒGICS DE LES PLATGES

5.6.1. INTRODUCCIÓ

L'últim punt de la tesina és l'estudi de la possible basculació de la platja degut a canvis en la direccionalitat de l'onatge incident. Es defineix el procés del canvi morfològic de les platges com el canvi geomètric, en l'espai i el temps, que pateix la superfície en planta i en el perfil de la costa com a conseqüència dels processos d'acreció i d'erosió produïts per l'onatge (Agustín Sánchez Arcilla y José A Jiménez, 1995).

Els canvis en la planta d'una platja són aquells que es produeixen degut, generalment, a la presència d'un gradient en el transport longitudinal de sediment prop de la vora. Aquests tipus de canvis es solen considerar permanents en el temps, a no ser que les condicions generadores canviïn o desapareguin. No obstant, en platges encastades (com la de Lloret de Mar) s'observa una basculació de la platja cap als extrems en funció de l'onatge incident, sense haver-hi pèrdua de volum.

5.6.2. CÀLCUL DE LA FORMA EN PLANTA EN PLATGES ENCASTADES

5.6.2.1. EXPLICACIÓ DEL MÈTODE EMPLEAT

Encara que existeixen una gran quantitat de mètodes per al càlcul de la forma en planta de les platges encastades, en aquesta tesina es suposa que la forma en planta es pot assumir com una paràbola del tipus $y = a \cdot x^2$, on l'única incògnita és el paràmetre de forma a .

D'altra banda, al ser una platja encastada, el volum total de sorres en principi no es modifica i per tant, si es suposa que el fons de la platja és pla (que no presenti una elevada curvatura) s'arriba a la següent expressió:

$$VOL_{anual} = \frac{1}{2} \cdot PdC \cdot \int_{L_0}^{L_f} a \cdot x^2 dx$$

on:

- VOL_{anual} és el volum de sorra mobilitzat per l'onatge anual en la platja.
- PdC és la profunditat de tancament que es defineix com aquella profunditat on el sediment ja no es mobilitza per l'onatge.
- L_f i L_0 són la longitud inicial (en aquest cas 0 m) i la longitud final (en aquest cas 1050 m, ja que es desestima la zona nord de la platja)

En l'expressió anterior, existeixen dues incògnites. No obstant el paràmetre PdC es pot obtenir mitjançant l'equació de Hallermeier.

5.5.2.2. OBTENCIÓ DE LA PROFUNDITAT DE TANCAMENT

Com s'ha mencionat en l'apartat anterior, la Profunditat de Tancament es pot obtenir mitjançant l'Equació de Hallermeier:

$$PdC = 2,28H_s - 68,5 \left(\frac{H_s^2}{gT^2} \right)$$

on:

- H_s és l'alçada significant d'ona excedida 12 hores a l'any
- T és el període pic associat a l'alçada d'ona obtinguda
- g és la gravetat

5.5.2.3. OBTENCIÓ DE LA FUNCIO DE PROBABILITAT DE LES ALÇADES D'ONES

Per a obtenir les alçades d'ona de les diferents combinacions dels models és necessari realitzar un ajust de les dades a una funció de probabilitat. Tal i com proposen Liu i Burchart (1999), s'utilitza la funció Gumbel, ja que representa un bon ajustament. La funció de probabilitat de Gumbel és igual a:

$$F(H_s) = \exp \left[-\exp \left(-\left(\frac{H_s - B}{A} \right) \right) \right]$$

El paràmetre A és el d'escala, el qual ha de ser positiu; el paràmetre B és el de centrat. Aquests dos paràmetres s'han de resoldre per a poder obtenir l'alçada d'ona desitjada.

La resolució d'aquests paràmetres es fa mitjançant l'ajust de mínims quadrats amb cada combinació de models. Per exemple, en la Taula 11 es mostren els paràmetres i l'alçada obtinguts amb el model REM_E:

Paràmetre	REM_E present	REM_E futur
Centrat	0,74	0,67
Escala	0,86	0,84
Hs	6,44	6,18

TAULA 11. CÀLCUL DELS PARÀMETRES DE LA FUNCIO GUMBEL DEL MODEL REM_E

Una vegada s'ha obtingut el valor dels paràmetres i s'ha obtingut el valor de l'alçada d'ona, és necessari obtenir el període pic associat a l'onatge.

5.5.2.4. OBTENCIÓ DELS PERÍODES DE L'ONATGE

Per a obtenir el període associat al l'alçada d'ona, s'utilitza la següent expressió:

$$T_p = aH_s^{0,5}$$

Proporcionada per la ROM, l'ajust del paràmetre a es fa mitjançant l'ajust de mínims quadrats amb cada combinació de models. En la Taula 12 es mostren el valor del paràmetre a i del període per a les alçades anteriors del model REM_E.

Paràmetre	REM_E present	REM_E futur
Període	6,48	5,81
Alçada d'ona	6,44	6,18
Paràmetre α	2,94	2,69

TAULA 12. CÀLCUL DEL PERÍODE ASSOCIAT A L'ALTURA D'ONA DONAN DEL MODEL REM_E

5.5.2.5. REPRESENTACIÓ GRÀFICA DELS RESULTATS

Una vegada s'han obtingut totes les dades necessàries per a resoldre la funció parabòlica, el darrer punt és situar la paràbola aconseguida sobre la platja. Per a aquesta tasca, es suposa que la platja l'any 1 (és a dir, en l'estat inicial) era paral·lela a la línia de costa. Per tant, és necessari saber l'amplada de la platja del tram principal quan es troba en aquesta situació.

En aquest cas, s'han estudiat diferents ortofotos cedides per l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) d'any diferents, fins arribar a una composició de la platja el més paral·lela possible a la línia de costa. El resultat és que la platja en aquest estat té una amplada de 50 m, com es mostra en la Figura 25.

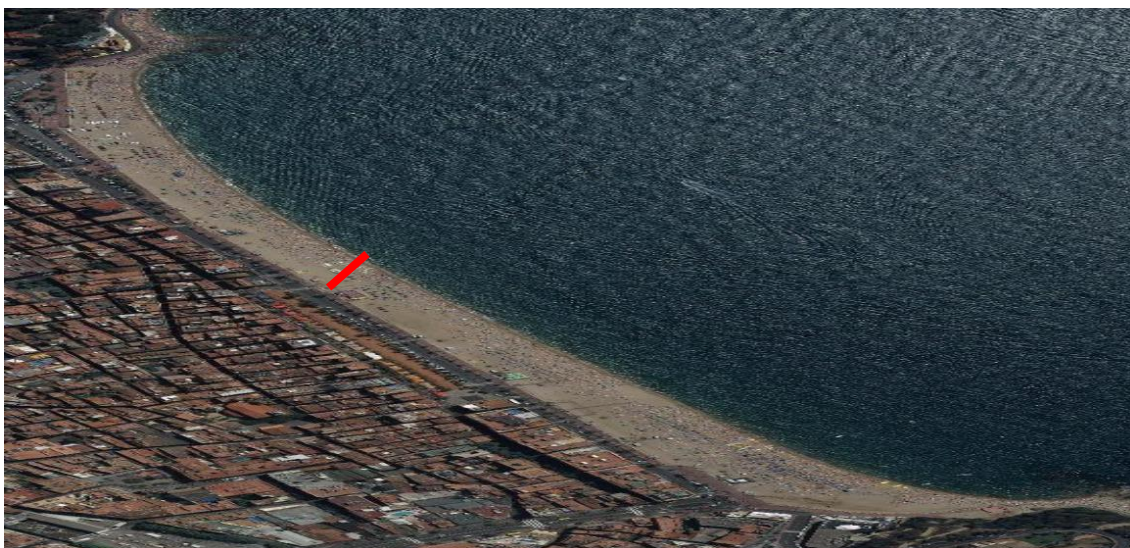


FIGURA 25. CÀLCUL DE L'AMPLADA MITJA DE LA PLATJA DE LLORET SENSE EFECTES DE BASCULACIÓ PRESENTS (ICC,2009)

A partir d'aquí, el darrer procediment que falta és situar la paràbola de forma que l'àrea que queda delimitada entre la nova planta (la paràbola aconseguida) i la platja en l'estat inicial sigui igual per ambdós costats.

6. PRESENTACIÓ I ANÀLISI DE RESULTATS

En aquest capítol es presenten i es discuteixen els resultats obtinguts de l'aplicació de la metodologia explicada anteriorment en el capítol 5. Les variables considerades han estat la distribució de direccions de l'onatge (expressada en forma de roses d'onatge), les direccions representatives de l'energia i del flux d'energia, el transport longitudinal de sediment (expressat en termes de rosa litoral) i finalment l'empremta morfològica sobre la platja de Lloret de Mar a través de l'anàlisi de la rotació de la platja.

6.1. ROSES D'ONATGE DELS MODELS

En aquest apartat es presenten les roses d'onatge de la combinació dels models atmosfèrics, més la rosa d'onatges del model HIPOCAS, tant per la situació present com per a la situació futura.

- Model HIPOCAS (Només situació present)

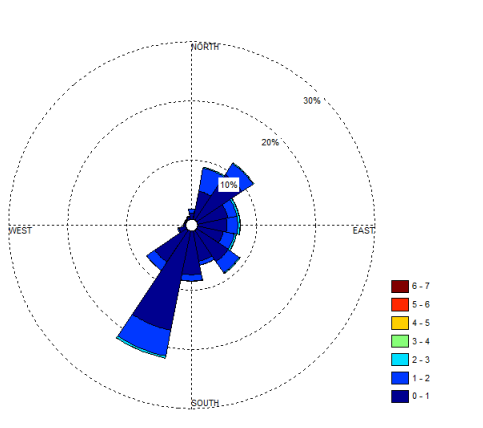


FIGURA 26. ROSA D'ONATGES DEL MODEL HIPOCAS

En el model HIPOCAS (Figura 26) de la situació present es pot observar com l'onatge principal és clarament de component SSO amb una freqüència d'aparició superior al 20%. L'onatge de component NE és el segon amb més importància amb una presència superior al 10%. L'onatge més energètic correspon a la direcció SSO amb ones d'alçada superiors als 6 metres.

- Model HIR_E

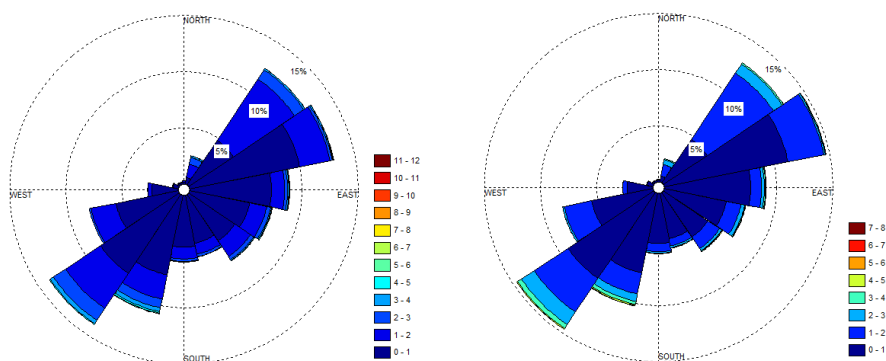


FIGURA 27. ROSA D'ONATGES DEL MODEL HIR_E EN LA SITUACIÓ PRESENT (ESQUERRA) I FUTURA (DRETA)

En l'estat present (Figura 27 esquerra), s'aprecien quatre direccions predominants: per una banda hi ha els onatges procedents del sud (de component SO-SOS) que conjuntament suposen el 25% del total dels onatges, i per una altra banda hi ha l'onatge procedent del nord (de component NE-ENE), que suposen el 25,5% dels onatges. Energèticament, els onatges més importants provenen de les components SO-SOS amb pics d'ona superiors als 10 m.

En l'estat futur (Figura 27 dreta), es tornen a apreciar les quatre mateixes components principals. No obstant s'observa com els onatges NE-ENE augmenten 3 punts percentuals fins assolir el 28% del total de la mostra. Igualment, l'onatge més energètic procedeix de les direccions SO-SOS però s'aprecia una disminució en la seva energia tant en aquesta direcció com en totes les altres.

- Model RAC_E

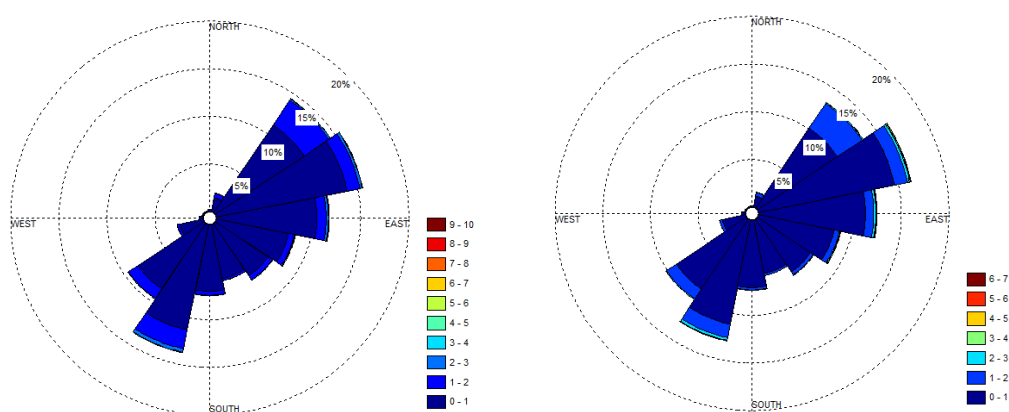


FIGURA 28. ROSA D'ONATGES DEL MODEL RAC_E EN LA SITUACIÓ PRESENT (ESQUERRA) I FUTURA (DRETA)

En l'estat present (Figura 28 esquerra), s'aprecien quatre direccions predominants: per una banda hi ha l'onatge procedent del sud (de component SOS) que conjuntament suposa el 14% del total dels onatges, també hi ha l'onatge procedent del nord (de component NE-ENE) que suposa el 30% del total, per últim, l'onatge en la direcció E també és força important amb un 11% del total. Energèticament, l'onatge SOS és el més important amb alçades d'ona màximes de 10 m.

En l'estat futur (Veure Figura 28), es tornen a apreciar les quatre mateixes components principals, a més de la direcció SO. Els onatges NE-ENE pivoten cap a l'est ja que l'onatge ENE augmenta mentre que l'onatge NE disminueix en la mateixa mesura. L'onatge provinent de la direcció E augmenta un un punt percentual fins el 12%. Per últim, l'onatge provinent del SO-SOS també pivota, disminuint el de component SOS i augmentant el SO. Energèticament, en l'estat futur es manté l'onatge SOS com un dels més energètics, emperò els onatges E i NE també tenen una gran presència d'onatges d'alçades elevades. No obstant l'alçada màxima d'ona en la situació futura disminueix fins els 7 metres.

- Model REM_E

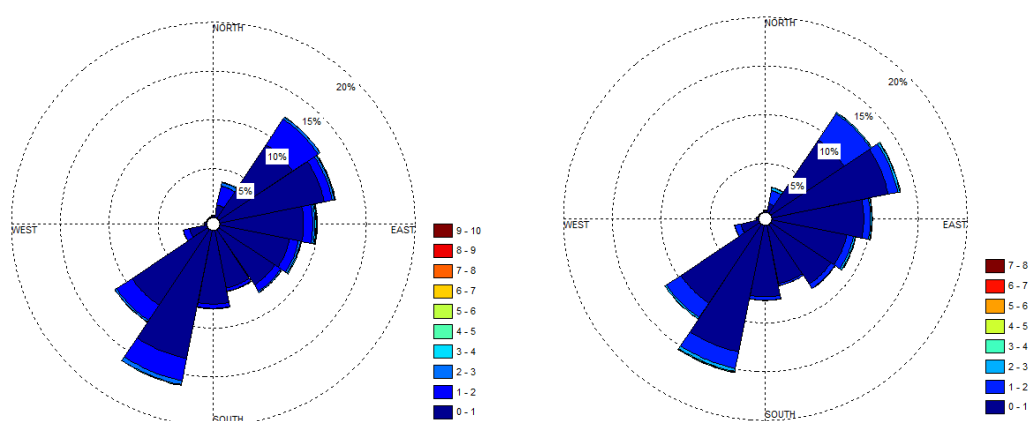


FIGURA 29. ROSA D'ONATGES DEL MODEL REM_E EN LA SITUACIÓ PRESENT (ESQUERRA) I FUTURA (DRETA)

En l'estat present (Figura 29 esquerra), l'onatge SOS, amb una freqüència d'aparició superior al 15%, és la direcció més important. Igualment, els onatges SO, NE, ENE i E tenen una presència significativa, superant tots ells el 10% del total. Energèticament, encara que l'onatge SOS és l'onatge amb les alçades d'ona màximes (fins als 10 m), el del NE també és molt energètic, ja que presenta més d'un 4% d'ones del total on l'altura és superior a 1 m.

En l'estat futur (Figura 29 dreta), l'onatge SOS és el més nombrós, encara que disminueix fins al 15%. L'onatge SO es manté en l'11,5% del total. L'onatge NNE i NE es desplaça cap a la direcció ENE, augmentant aquest últim 2,5 unitats percentuals mentre que l'onatge E es manté igual. Energèticament, en l'estat futur es manté l'onatge SOS com el més energètic, emperò igual que en la situació present, l'onatge NE té una forta presència d'onatges amb alçades superiors al metre. Com passa amb tots els models, l'alçada màxima prevista disminueix 3 metres fins als 7 metres com a màxim.

- Model RCA_E

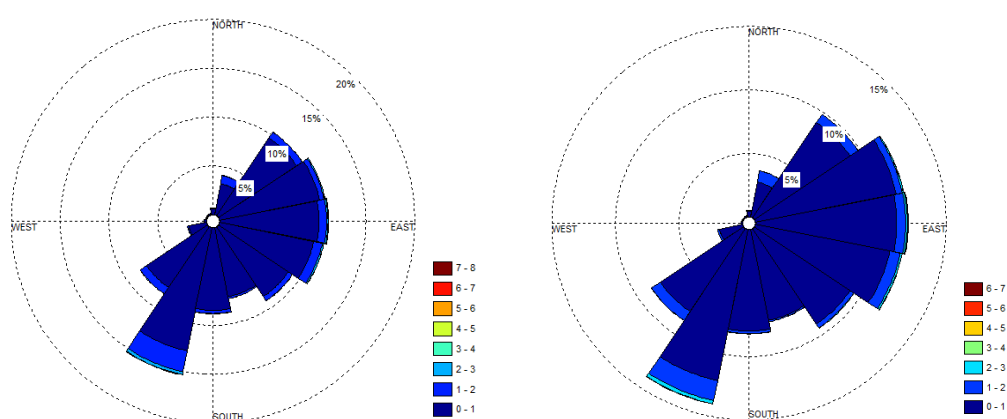


FIGURA 30. ROSA D'ONATGES DEL MODEL RCA_E EN LA SITUACIÓ PRESENT (ESQUERRA) I FUTURA (DRETA)

En l'estat present (Figura 30 esquerra), l'onatge SOS, amb una freqüència d'aparició superior al 15%, és la direcció més important. Igualment, els onatges NE, ENE, E i ESE tenen una presència significativa, tenint cada direcció de l'ordre del 10% del total de l'onatge. Energèticament, la direcció SOS és la més important, amb unes alçades d'ona que arriben als 8 metres i una presència d'ones energètiques (ones d'alçades superiors al metre) del 3% sobre el total.

En l'estat futur (Veure Figura 30 dreta), l'onatge SOS segueix sent el més important encara que disminueix fins al 14 % del total de les ones. Els onatges ENE i NE es desplacen cap a l'E, disminuint aquest i augmentant els onatges ENE i E. Energèticament, la direcció SOS és la més important amb unes alçades d'ona que arriben als 7 metres (una disminució d'un metre en l'alçada d'ona màxima) i una presència d'ones energètiques (ones d'alçades superiors al metre) del 2,5% sobre el total.

- Model RCA_H

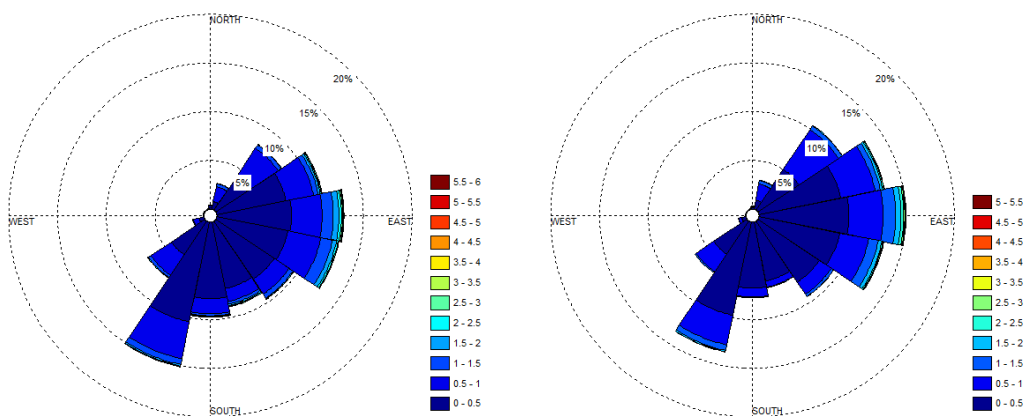


FIGURA 31. ROSA D'ONATGES DEL MODEL RCA_H EN LA SITUACIÓ PRESENT (ESQUERRA) I FUTURA (DRETA)

En l'estat present (Figura 31 esquerra), l'onatge SOS, amb una freqüència d'aparició superior al 15%, és la direcció més important, encara que els onatges ENE, E i ESE tenen una presència significativa, amb una freqüència d'aparició del 11%, 13,5% i el 13% respectivament. Les direccions E i ESE són les més energètiques amb ones superiors als 5,5 metres.

En l'estat futur (Figura 31 dreta), l'onatge SOS disminueix 1,5 punts percentuals fins al 13,5 % del total, fet que provoca que ja no sigui l'onatge més freqüent en aquest període. Per una altra banda, els onatges NE, ENE i E augmenten significativament fins al 10,5 %, 13% i 15% respectivament. Les direccions més energètiques són les del ventall ENE-ESE amb onatges superiors als 5 metres (una disminució de 0,5 metres respecte el present).

6.2. PRIMERA APROXIMACIÓ ALS CANVIS EN EL TRANSPORT LONGITUDINAL

A continuació es presenten en les Taules 13 a 17 i les Figures 32 a 36, els resultats de les sumes vectorials dels onatges propagats per a cada combinació de models atmosfèrics, agrupant-los des del percentil 75 fins al percentil 95 dels onatges més energètics tant en la situació present com en la situació futura. A més, es comparen els diferents models per observar les diferències

que presentin entre ells. Els angles estan en coordenades nàutiques i en la direcció d'avançament.

6.2.1. MODEL HIR_E

Els resultats de la suma vectorial en el model HIR_E es presenten en la Taula 13. S'observa com en la situació futura l'angle resultant de la suma segons $H^2 \cdot T$ augmenta entre un 0,90% i un 0,02%. Aquest fet guarda correlació amb l'augment observat en les roses dels onatges NE-ENE. D'aquesta manera, el transport tendria a disminuir però en principi no canviaria de sentit.

Per una altra banda, en els episodis més energètics (percentil 95) l'energia de l'onatge augmenta, però en general l'onatge serà menys energètic en la situació futura al disminuir en tots els altres percentils el mòdul $H^2 \cdot T$ (fins a un 11,05%). Per tant, segons el canvi en els mòduls, el transport associat a l'onatge incident hauria de disminuir.

Tenint en compte ambdós canvis, resulta esperable que el transport longitudinal disminueixi el seu valor en el futur amb els resultats del model HIR_E.

		HIR_E					
		Actual		Futura		Variacions entre períodes (en %)	
		Mòdul	Angle	Mòdul	Angle	Mòdul	Angle
PERCENTIL 75	H	16.886,59	349,83	18.747,97	349,91	11,02	0,02
	H^2	30.627,35	348,63	28.476,29	349,96	-7,02	0,38
	$H^2 \cdot T$	150.936,04	346,86	134.258,26	348,66	-11,05	0,52
PERCENTIL 80	H	14.817,86	350,53	16.783,93	351,12	13,27	0,17
	H^2	28.669,14	349,05	27.237,38	350,49	-4,99	0,41
	$H^2 \cdot T$	143.880,19	347,18	130.511,93	349,02	-9,29	0,53
PERCENTIL 85	H	12.406,78	351,37	14.417,59	352,37	16,21	0,29
	H^2	26.016,31	349,61	25.461,18	351,13	-2,13	0,43
	$H^2 \cdot T$	133.653,18	347,62	124.678,65	349,49	-6,71	0,54
PERCENTIL 90	H	9.523,25	352,70	11.411,62	354,13	19,83	0,40
	H^2	22.225,00	350,49	22.615,77	352,16	1,76	0,48
	$H^2 \cdot T$	117.975,31	348,34	114.290,84	350,32	-3,12	0,57
PERCENTIL 95	H	5.810,15	352,89	7.311,62	356,07	25,84	0,90
	H^2	16.062,53	350,66	17.394,18	353,49	8,29	0,81
	$H^2 \cdot T$	90.377,95	348,35	92.957,94	351,41	2,85	0,88

TAULA 13.VARIACIONS DELS MÒDULS I ANGLES EN LA SUMES VECTORIALS EN EL MODEL HIR_E

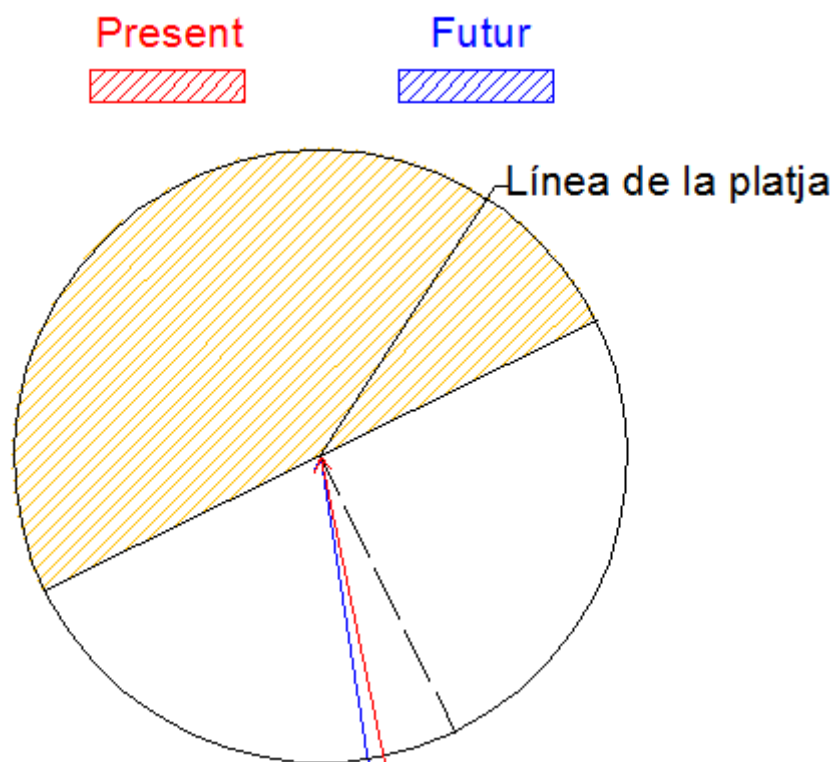


FIGURA 32. VARIACIÓ EN LA DIRECCIONALITAT DE LA SUMA VECTORIAL SEGONS $H^2\cdot T$ DEL MODEL HIR_E

6.2.2. MODEL RAC_E

		RAC_E					
		Actual		Futura		Variacions entre períodes	
		Mòdul	Angle	Mòdul	Angle	Mòdul	Angle
PERCENTIL 75	H	10.314,80	344,20	11.917,83	339,79	15,54	-1,28
	H ²	11.504,61	340,64	11.333,28	336,59	-1,49	-1,19
	H ² ·T	49.000,66	336,64	46.950,71	332,35	-4,18	-1,28
PERCENTIL 80	H	9.044,82	344,29	10.425,67	340,52	15,27	-1,10
	H ²	10.803,39	340,46	10.674,28	336,66	-1,20	-1,12
	H ² ·T	46.999,82	336,44	45.259,47	332,31	-3,70	-1,23
PERCENTIL 85	H	7.576,20	343,65	8.781,90	340,91	15,91	-0,80
	H ²	9.879,71	339,84	9.867,43	336,48	-0,12	-0,99
	H ² ·T	44.208,74	335,89	43.073,33	332,09	-2,57	-1,13
PERCENTIL 90	H	5.841,03	342,17	6.896,46	340,68	18,07	-0,43
	H ²	8.587,20	338,66	8.794,81	335,84	2,42	-0,83
	H ² ·T	39.994,67	334,83	39.940,98	331,51	-0,13	-0,99
PERCENTIL 95	H	3.659,15	338,47	4.465,23	337,23	22,03	-0,37
	H ²	6.518,21	335,67	7.012,86	333,20	7,59	-0,74
	H ² ·T	32.474,67	332,11	34.094,60	329,33	4,99	-0,84

TAULA 14. VARIACIONS DELS MÒDULS I ANGLES EN LA SUMES VECTORIALS EN EL MODEL RAC_E

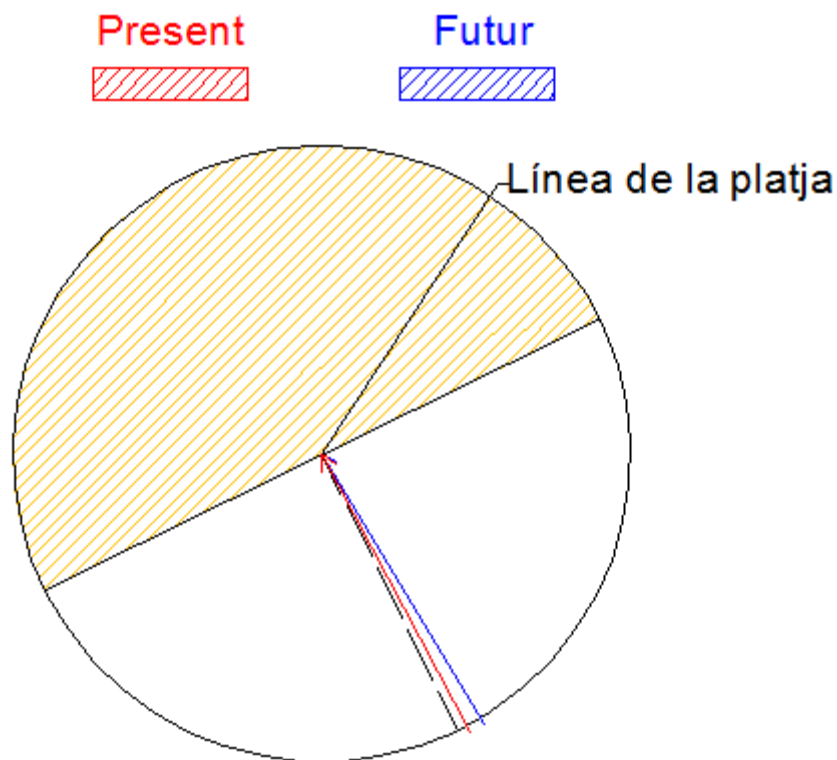


FIGURA 33. VARIACIÓ EN LA DIRECCIONALITAT DE LA SUMA VECTORIAL SEGONS $H^2 \cdot T$ DEL MODEL RAC_E

En el model RAC_E l'angle resultant dels tres sumatoris vectorials disminueix entre un -0,37 % i un -1,28 %. Una possible explicació a aquest fet seria la disminució d'onatges de component SOS mentre que els onatges ENE-NE es mantenen iguals (veure rosa d'onatges del model RAC_E). Per tant, al ser el vector resultant més obliqua, el transport tendirà a ser major i a més tendirà a ser cap al sud.

Per una altra banda, a l'igual que en el model HIR_E, el percentil 95 augmenta el seu mòdul (el que indueix a pensar que les ones més energètiques augmenten en la situació futura) mentre que l'onatge en general disminueix la seva energia ja que es produeix un descens del valor del mòdul en tots els altres percentils.

Com que els dos canvis són contraris, no és possible estimar els possibles canvis de tendència en el transport.

6.2.3. MODEL REM_E

		REM_E					
		Actual		Futura		Variacions entre períodes	
		Mòdul	Angle	Mòdul	Angle	Mòdul	Angle
PERCENTIL 75	H	12.292,09	344,24	13.133,02	345,64	6,84	0,41
	H ²	15.660,05	337,39	13.223,86	343,29	-15,56	1,75
	H ² ·T	70.189,02	331,90	54.555,86	339,68	-22,27	2,34
PERCENTIL 80	H	10.774,23	343,68	11.944,25	345,85	10,86	0,63
	H ²	14.740,73	336,77	12.767,81	343,31	-13,38	1,94
	H ² ·T	67.499,20	331,36	53.300,06	339,68	-21,04	2,51
PERCENTIL 85	H	9.060,19	342,16	10.124,93	345,62	11,75	1,01
	H ²	13.564,07	335,57	11.834,19	343,02	-12,75	2,22
	H ² ·T	63.875,79	330,35	50.756,68	339,41	-20,54	2,74
PERCENTIL 90	H	7.031,66	339,50	7.893,88	345,20	12,26	1,68
	H ²	11.898,03	333,58	10.477,99	342,48	-11,94	2,67
	H ² ·T	58.295,89	328,66	46.811,80	338,87	-19,70	3,11
PERCENTIL 95	H	4.413,91	334,21	5.039,25	344,19	14,17	2,99
	H ²	9.088,59	329,22	8.232,24	341,27	-9,42	3,66
	H ² ·T	47.768,37	324,82	39.362,34	337,67	-17,60	3,96

TAULA 15. VARIACIONS DELS MÒDULS I ANGLES EN LA SUMES VECTORIALS EN EL MODEL REM_E

En el model REM_E l'angle resultant dels tres sumatoris vectorials augmenta en la situació futura entre un 3,96% i un 0,41%. Com es pot observar en la taula 15, el vector resultant en la situació futura es desplaça i s'arriba a situar per davall de la perpendicular a línia de platja (línia que en principi separa el onatges generadors de transport longitudinal d'un sentit i de l'altre). Per tant, es pot arribar a pensar que els resultats del model REM_E produiran un canvi de signe en el transport longitudinal en la situació futura.

Per l'altre costat, tots els onatges, tant els més energètics com els que no, tenen un descens molt elevat del seu valor. Per tant, és raonable pensar que tan les alçades d'ona com el transport disminuiran en la situació futura.

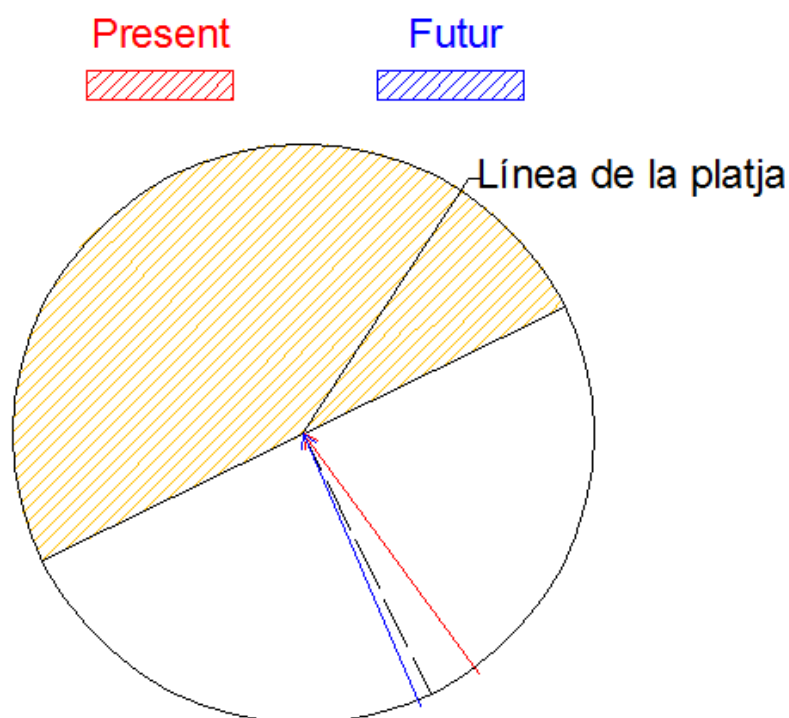


FIGURA 34. VARIACIÓ EN LA DIRECCIONALITAT DE LA SUMA VECTORIAL SEGONS $H^2 \cdot T$ DEL MODEL REM_E

6.2.4. MODEL RCA_E

		RCA_E					
		Actual		Futura		Variacions entre períodes	
		Mòdul	Angle	Mòdul	Angle	Mòdul	Angle
PERCENTIL 75	H	10.605,86	341,75	11.351,55	338,96	7,03	-0,82
	H ²	10.597,56	340,34	9.877,86	337,91	-6,79	-0,72
	H ² ·T	43.093,01	337,61	39.096,74	335,21	-9,27	-0,71
PERCENTIL 80	H	9.623,69	340,74	10.347,42	338,87	7,52	-0,55
	H ²	10.184,87	339,93	9.553,11	337,88	-6,20	-0,60
	H ² ·T	41.951,89	337,33	38.257,88	335,17	-8,81	-0,64
PERCENTIL 85	H	8.090,85	340,61	8.792,93	339,10	8,68	-0,44
	H ²	9.315,91	339,80	8.873,38	337,91	-4,75	-0,56
	H ² ·T	39.381,38	337,18	36.482,14	335,12	-7,36	-0,61
PERCENTIL 90	H	6.227,53	340,64	6.904,90	339,22	10,88	-0,42
	H ²	8.039,78	339,69	7.888,43	337,81	-1,88	-0,55
	H ² ·T	35.268,71	336,97	33.682,64	334,96	-4,50	-0,60
PERCENTIL 95	H	3.822,76	340,13	4.439,43	339,17	16,13	-0,28
	H ²	5.903,05	338,98	6.184,51	337,40	4,77	-0,47
	H ² ·T	27.585,24	336,14	28.146,52	334,45	2,03	-0,50

TAULA 16. VARIACIONS DELS MÒDULS I ANGLES EN LA SUMES VECTORIALS EN EL MODEL RCA_E

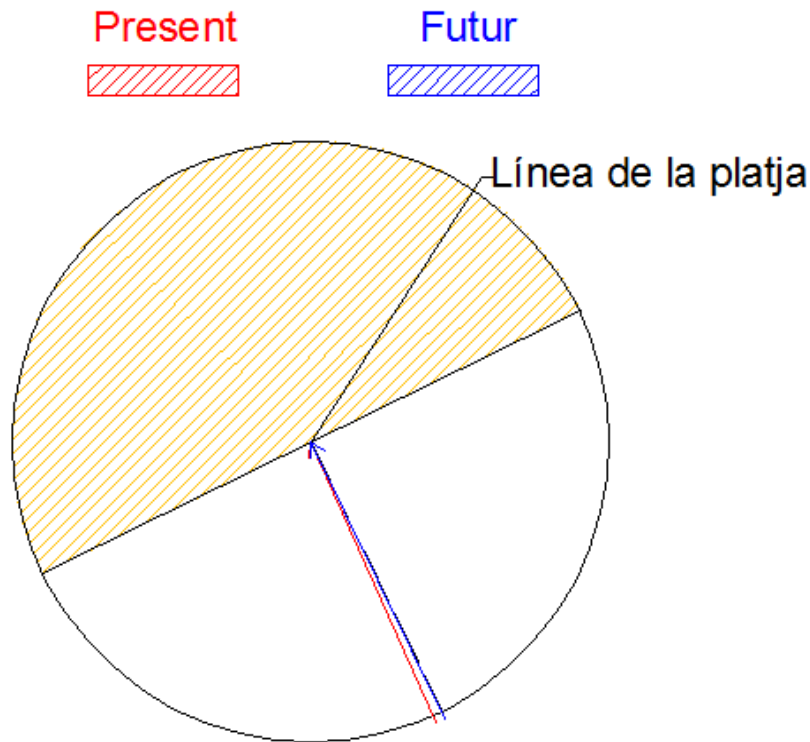


FIGURA 35. VARIACIÓ EN LA DIRECCIONALITAT DE LA SUMA VECTORIAL SEGONS $H^2 \cdot T$ DEL MODEL RCA_E

En el model RCA_E, l'angle resultant dels tres sumatoris vectorials disminueix en la situació futura entre un 0,82% i un 0,28%. Com es pot observar en la taula 16, el vector resultant en la situació futura es desplaça i al contrari que en el model REM_E es situa just per damunt de la línia perpendicular. No obstant, aquesta distància tan petita entre la línia separadora i el vector resultant en la situació futura no permet realitzar suposicions fiables.

Per una altra banda, el percentil 95 augmenta el seu mòdul (el que indueix a pensar que les ones més energètiques augmenten en la situació futura), mentre que l'onatge en general disminueix la seva energia ja que es produeix un descens del valor del mòdul en tots els altres percentils.

Per tant, si s'ajunten el fet del desplaçament del vector per damunt de la línia separadora i el fet que el mòdul disminueixi, és d'esperar que el transport longitudinal disminueixi o canviï de sentit.

6.2.5. MODEL RCA_H

		RCA_H					
		Actual		Furuta		Variacions entre períodes	
		Mòdul	Angle	Mòdul	Angle	Mòdul	Angle
PERCENTIL 75	H	11.936,07	323,98	11.196,80	321,23	-6,19	-0,85
	H ²	12.908,64	320,82	9.813,84	314,48	-23,97	-1,98
	H ² ·T	57.929,26	317,75	41.848,81	309,78	-27,76	-2,51
PERCENTIL 80	H	10.556,02	322,19	9.936,74	319,54	-5,87	-0,82
	H ²	12.202,28	319,86	9.337,91	313,42	-23,47	-2,02
	H ² ·T	55.868,10	317,09	40.662,05	309,08	-27,22	-2,53
PERCENTIL 85	H	8.962,84	319,86	8.489,40	317,04	-5,28	-0,88
	H ²	11.256,57	318,58	8.698,03	311,86	-22,73	-2,11
	H ² ·T	52.908,70	316,18	38.923,42	308,00	-26,43	-2,59
PERCENTIL 90	H	7.048,57	316,91	6.740,26	313,30	-4,37	-1,14
	H ²	9.899,26	316,91	7.752,73	309,40	-21,68	-2,37
	H ² ·T	48.260,07	314,94	36.078,90	306,23	-25,24	-2,77
PERCENTIL 95	H	4.474,38	313,68	4.426,23	306,67	-1,08	-2,24
	H ²	7.529,75	315,07	6.108,31	304,74	-18,88	-3,28
	H ² ·T	39.033,65	313,42	30.405,98	302,73	-22,10	-3,41

TAULA 17. VARIACIONS DELS MÒDULS I ANGLES EN LA SUMES VECTORIALS EN EL MODEL RCA_H

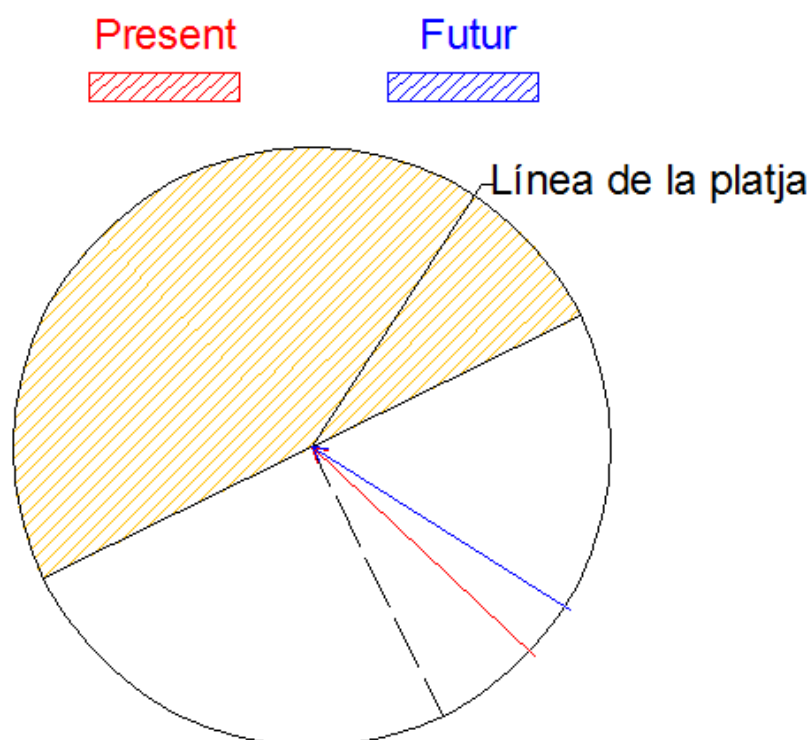


FIGURA 36. VARIACIÓ EN LA DIRECCIONALITAT DE LA SUMA VECTORIAL SEGONS H²·T DEL MODEL RCA_H

En el model RCA_H, l'angle resultant dels tres sumatoris disminueix en la situació futura entre un 3,41% i un 0,82 % i, per tant, es torna més obliquo respecte a la línia de platja. Aquest fet concorda amb l'augment dels onatges provinents de les components E i ENE. En general, un augment de l'obliquïtat en els onatges implica que, en principi, el transport hauria de tendir a pujar cap al mateix sentit (fins a un màxim d'un onatge de 45º o menys respecte a la línia de costa, fet bastant inusual i que no es compleix en aquest cas).

Energèticament, i igual que en tots els altres models, l'onatge en general disminueix el seu mòdul i per tant, disminueix l'energia de les ones. En aquest model, a l'igual que en el model HIR_E i RAC_E, el percentil 95 augmenta una mica el seu valor, sent l'excepció de la tònica general. Llavors, és plausible que el transport longitudinal disminueixi ja que l'onatge és menys energètic.

Com que els dos canvis que es produeixen en el futur impliquen canvis en el transport longitudinal contraris, no es possible suposar quin serà el comportament del transport.

6.2.6. VARIACIONS DELS ANGLES DE LA SUMA VECTORIAL ENTRE PERÍODES I MODELS

En la Figura 37 s'han comparat els angles dels vectors resultants entre els models i entre la platja (la línia perpendicular a la platja que separa l'onatge generador de transport en un sentit o en l'altre) de la situació actual.

Segons aquests gràfic, els onatges dels models HIR_E, RCA_E i RAC_E tendirien a presentar un transport longitudinal de sud a nord, mentre que els onatges dels models REM_E i RCA_H ho farien a la inversa. Això no implica que a més obliquïtat el transport sigui major, ja que també depèn de l'energia de les ones. Emperò si que és d'esperar que al haver una major obliquïtat en una o altra direcció, la capacitat de canvis en el transport sigui menor.

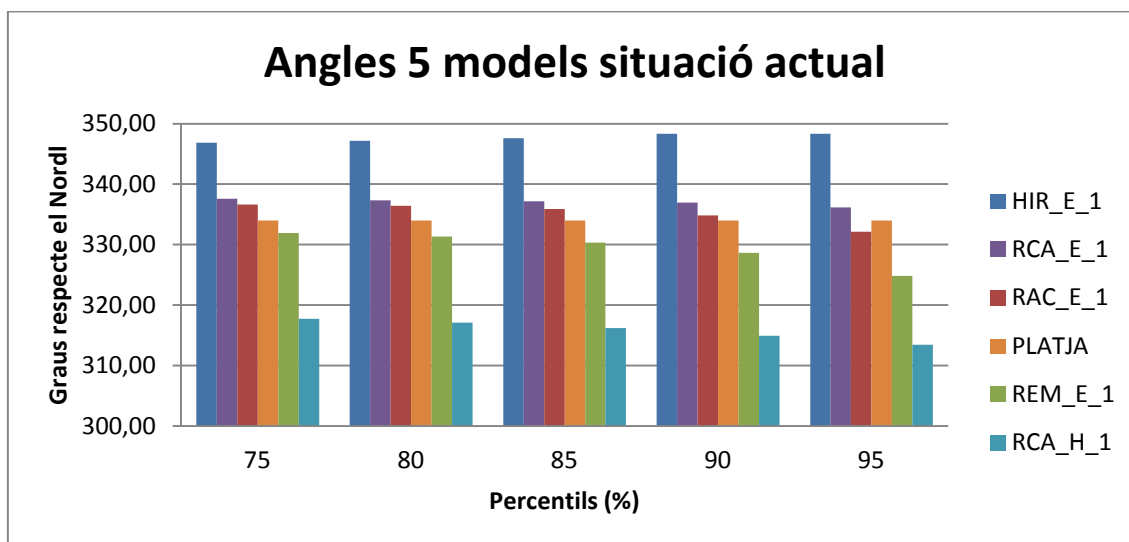


FIGURA 37. COMPARACIÓ D'ANGLES DE LA SUMA VECTORIAL SEGONS H²T RESPECTE A LA PLATJA

Anàlogament a l'anteriorment dit, en la Figura 38 es representa la situació futura. Com es pot observar, en aquest període de temps existeixen una sèrie de canvis. Els models que tendiran a presentar un onatge cap al nord són el HIR_E, el REM_E i el RCA_E, mentre que al contrari, els

models que tendiran a tenir un transport cap al sud són el RAC_E i el RCA_H. Per tant s'aprecia com els models HIR_E, RCA_E i RCA_H no varien el seu signe, mentre que els models REM_E i RAC_E canvien el signe, i a més un ho fa al contrari de l'altre.

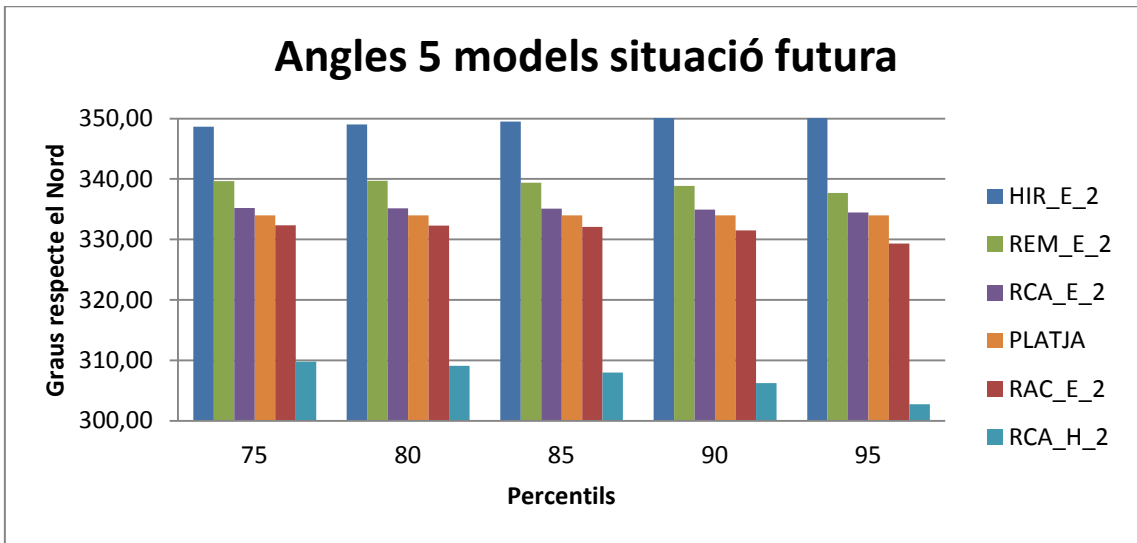


FIGURA 38. COMPARACIÓ ANGLES DE LA SUMA VECTORIAL SEGONS H²T ENTRE MODELS EN LA SITUACIÓ FUTURA

6.2.7. VARIACIONS DELS MÒDULS DE LA SUMA VECTORIAL ENTRE PERÍODES I MODELS

En aquest apartat, es compararan els mòduls resultants dels diferents models i en els diferents períodes per a intentar predir si hi haurà o si serà possible que hi hagi canvis en la tendència de l'onatge.

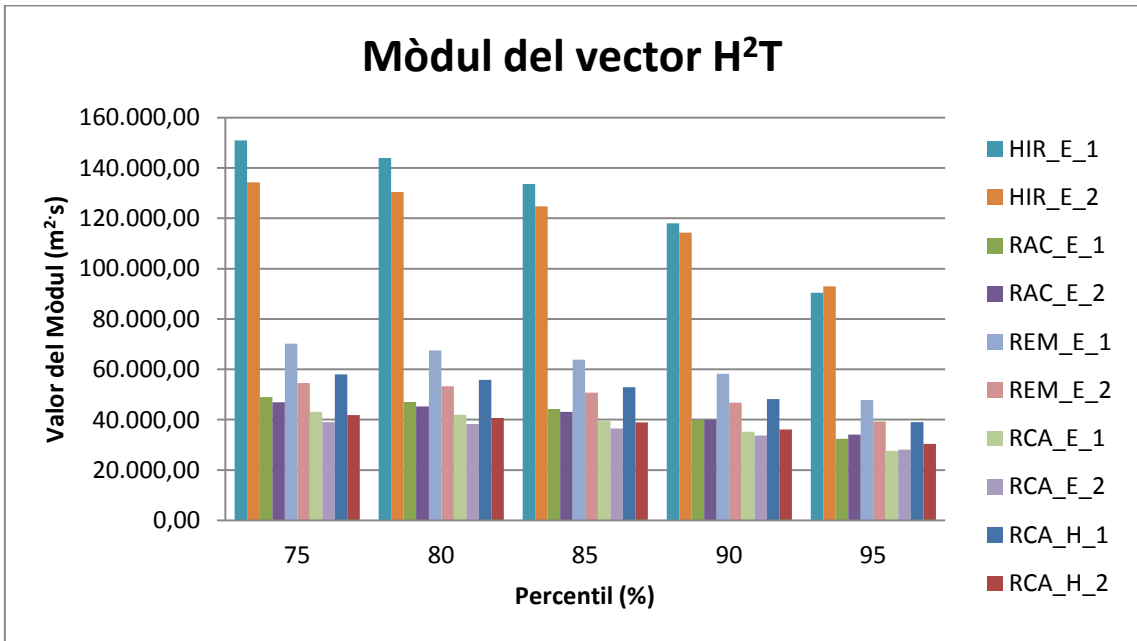


FIGURA 39. COMPARACIÓ DELS MÒDULS DE LA SUMA VECTORIAL ENTRE MODES I PERÍODES

Com es pot comprovar en la Figura 39, el mòdul del vector H^2T disminueix en el percentil 75 en tots els casos. A més, el mòdul del model HIR_ resulta ser d'una magnitud molt superior a tots els altres, seguit de molt lluny, pel model REM_E i el model RCA_H.

6.3. CÀLCUL DEL TRANSPORT LONGITUDINAL I DE LES ROSES LITORALS

En aquest capítol es calcularan i comentaran les Roses Litorals dels models en la situació actual i futura i el transport longitudinal obtingut per a cada model.

6.3.1. CÀLCUL DEL TRANSPORT LONGITUDINAL DELS MODELS

En aquest apartat es calcula el transport longitudinal associat a cada combinació de models atmosfèrics, a més del model HIPOCAS. Els resultats es resumeixen en les Taules 18 i 19.

Transport longitudinal total	SITUACIÓ	
MODEL	Present	Futur
	Transport Longitudinal (m ³)	Transport Longitudinal (m ³)
HIPOCAS	-58.156,83	-
HIR_E	-550.843,24	-528.525,27
RAC_E	-53.843,41	7.357,61
REM_E	14.998,48	-91.564,59
RCA_E	-59.888,06	-19.017,95
RCA_H	216.984,14	252.778,20

TAULA 18. VARIACIÓ DEL TRANSPORT LONGITUDINAL

Transport longitudinal anual (de mitjana)	SITUACIÓ	
MODEL	Present	Futur
	Transport Longitudinal (m ³ /any)	Transport Longitudinal (m ³ /any)
HIPOCAS	-1.938,56	-
HIR_E	-18.361,44	-17.617,51
RAC_E	-1.794,78	245,25
REM_E	499,95	-3.052,15
RCA_E	-1.996,27	-633,93
RCA_H	7.232,80	8.425,94

TAULA 19. VARIACIÓ DEL TRANSPORT LONGITUDINAL (VALORS MITJANS)

El conveni de signes és el següent:

- Transport de nord a sud: signe positiu.
- Transport de sud a nord: signe negatiu.

Hi ha quatre models que el seu onatge incident genera transport cap al nord en la situació actual, aquest són: l'HIPOCAS, el HIR_E, el RAC_E i el RCA_E. Per una altra banda, els models que generen transport cap al sud són el REM_E i el RCA_H.

Com era d'esperar, el model HIR_E és el model que genera un transport longitudinal més elevat i en sentit cap al nord. En la situació futura es manté com el model més energètic encara que es redueix el transport.

Per una altra banda, encara que el model RCA_H no era el segon model més energètic (ni per alçades d'ona màxima ni per valor del mòdul màxim) resulta ser el segon model amb un transport longitudinal més gran. Això es pot deure a la seva elevada obliquïtat del seu onatge incident sobre la platja. A més, en la situació futura, l'angle resultat de la suma vectorial es torna més obliqui i, d'igual manera, el seu transport longitudinal augmenta de valor, encara que tan la seva alçada màxima d'ona com el seu mòdul disminueixin.

El model RCA_E manté el seu transport en direcció nord tant en la situació present com en la situació futura, encara que s'observa com es redueix el transport total.

El model RAC_E en la situació actual presenta un transport longitudinal cap al nord, fet que coincideix amb el seu vector resultant de la suma vectorial. En la situació futura el seu transport longitudinal canvia de signe i per tan de sentit, resultant ser cap al sud, fet que coincideix amb el canvi en l'angle de la suma vectorial. A l'igual que el model HIR_E i RCA_E, el seu valor total disminueix.

El model REM_E en la situació actual presenta un transport longitudinal cap al sud. A la inversa que el model RAC_E, en la situació futura el seu transport canvia de signe i de sentit, sent cap al nord. A més, el valor total del transport longitudinal augmenta també.

6.3.2. VALIDESA DEL MODEL HIPOCAS I DE LA BOIA DE BLANES

És interessant comprovar si el node de la Platja de Lloret del model HIPOCAS posseeix un onatge que pugui ser útil per a ser contrastat amb els dels models. Per això, es compara el transport longitudinal que genera el model HIPOCAS amb el transport longitudinal obtingut de la boia de Blanes (Extret del Llibre Verd).

	Transport longitudinal (m ³ /any)	
Mètode	Boia de Blanes	HIPOCAS
CERC	6.800	-1.939
Khampuis	24.600	-

TAULA 20. CÀLCUL DEL TRANSPORT LONGITUDINAL SEGONS DIFERENTS MODELS (LLIBRE VERD DE LA COSTA CATALANA)

Com es pot observa en la Taula 20 anterior, el càlcul del transport longitudinal amb la boia de Blanes resulta ser de nord a sud i utilitzant dos mètodes diferents. Aquests valors coincideixen amb els nombrosos estudis i amb les proves de camp realitzades en la costa catalana, on la direcció del transport longitudinal sol ser de nord a sud. Per tant, el model HIPOCAS no està del tot ben calibrat en la zona d'estudi i no s'usarà com a model comparatiu en aquest treball.

Anàlogament, la boia de Blanes tampoc s'utilitzarà en l'estudi comparatiu realitzat en aquesta tesina, degut a que la seva mostra de dades no coincideix temporalment amb cap dels models estudiats en la situació present. Tal com es pot veure en la Taula 21.

	Boia de Blanes	REM_E	Altres models
Període	1984-2013 (Actualment tancada)	1981-2011	1971-2001

TAULA 21. PERÍODES DE LES MOSTRES DE DADES

6.3.3. CÀLCUL DE LES ROSES LITORALS PER A CADA MODEL I SITUACIÓ

En aquest apartat es calcularan les Roses Litorals dels diferents models ja que són figures que aporten molta informació útil per a l'estudi del transport longitudinal de sediments i per a l'estudi dels canvis morfològics en planta de les platges.

6.3.3.1. MODEL HIR_E

El model HIR E, segons l'apartat anterior, és el model que tendeix a sobrevalorar l'energia de les ones incidents en la zona d'estudi. Per tant, el resultat obtingut de la seva *Rosa Litoral* (que es mostra en la Figura 40) és d'esperar.

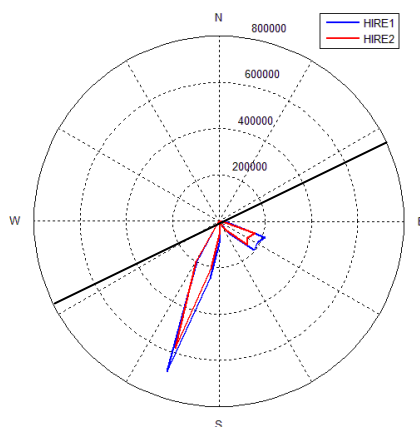


FIGURA 40. ROSA LITORAL DEL MODEL HIR_E

Aquest model, com ja s'ha mencionat, genera l'onatge més energètic tant en la situació present com en la futura i, per això, la *Rosa Litoral* associada presenta els extrems més elevats del transport de sediment. En blau, es representa el transport de sediments que genera l'onatge de la situació actual i en vermell es representa el transport de sediments que genera l'onatge de la situació futura.

En la situació present s'observen dos grups d'onatges importants. Per una banda, hi ha l'onatge generador de la basculació de la platja cap al sud. Aquest onatge és de component ESE-SE (comprèn les direccions 110-130°) i en les tres direccions la seva magnitud és de l'ordre dels 200.000 m³/any.

Anàlogament, existeix un onatge generador de la platja cap al nord. Aquest onatge és de component SE-E (comprèn les direccions 190-210°) i quantitativament, varia entre els 200.000 m³/any fins als més de 600.000 m³/s de la direcció 200°, quantitat que resulta ser la màxima de qualsevol dels 5 models per a una direcció en concret.

En la situació futura es veuen una sèrie de canvis en el transport de sediments. Com es pot comprovar en la Figura anterior, la zona vermella és més reduïda que la zona blava i per tant, el transport de sediments és menor. Com que les direccions d'onatge no varien, implica que en la situació futura l'onatge segons el model HIR_E serà menys energètic que l'onatge actual i per tant, les alçades de mitjana minvaran.

Igualment, el transport de sediments continuarà sent cap al nord, i la platja tindrà una basculació cap al nord molt pronunciada, fet que generarà problemes d'amplada en la zona sud.

6.3.3.2. MODEL RAC_E

La *Rosa Litoral* tant en la situació present com en la futura es representa en la Figura 41.

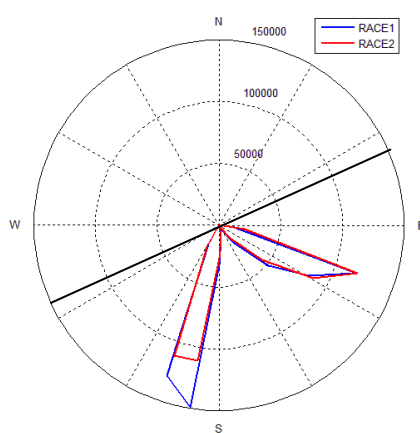


FIGURA 41. ROSA LITORAL DEL MODEL RAC_E

S'observen dos grups d'onatges importants tant en la situació present, en blau, com en la situació futura, en vermell. En aquest model cal recordar que el transport de sediments en el present és en la direcció nord, mentre que en la situació futura canvia de signe i és de direcció sud.

En la situació actual, l'onatge generador de la basculació de la platja cap al sud és de component SE-ESE (comprèn les direccions 110-130°) i varia entre els 120.000 m³/any i els 50.000 m³/any.

Per una altra banda, l'onatge generador de la basculació de la platja cap al nord és de component S-SOS, (comprèn les direccions 190-200°) i varia entre els 150.000 m³/any i els 120.000 m³/any.

Per tant, en el model RAC_E, la Platja de Lloret de Mar tendirà a estar més basculada cap al nord, fet que no provocarà pèrdues de sorra.

En la situació futura, es perceben una sèrie de canvis en el transport longitudinal. Mentre que per una banda, l'onatge de component ESE-SE tant direccionalment com quantitativament és similar i, per tant, genera el mateix transport de sediments cap al sud, l'onatge de component S-SOS redueix notòriament el seu transport. Com que direccionalment és igual a l'onatge en la

situació present, implica que l'onatge generador de la basculació de la platja cap al nord serà menys energètic.

Aquesta disminució de l'onatge de component S-SOS resultarà sobre la platja en una basculació de nord a sud i viceversa al llarg del temps.

6.3.3.3. MODEL REM_E

La *Rosa Litoral* tant en la situació present com en la futura es presenta en la Figura 42.

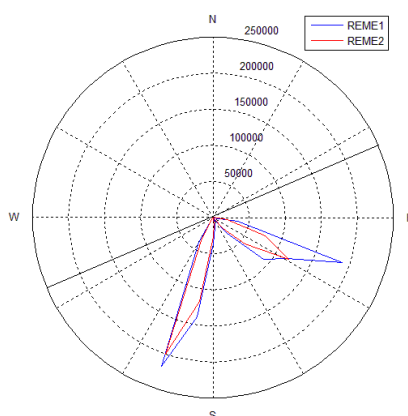


FIGURA 42. ROSA LITORAL DEL MODEL REM_E

S'observen dos grups d'onatges diferents tant en la situació present, en blau, com en la futura, en vermell. En aquest model el transport longitudinal de sediments és cap al sud en la situació present, mentre que en la situació futura és cap al nord.

En la situació present, l'onatge generador de la basculació de la platja cap al sud és de component ESE-SE (comprèn les direccions 110-130°). Amb un transport màxim d'aproximadament 200.000 m³/any en la direcció ESE, minvant quasi linealment fins als 100.000 m³/anys en la direcció SE.

Per una altra banda, l'onatge generador de la basculació de la platja cap al nord és de component S-SOS (comprèn les direccions 190-200°). El transport és aproximadament igual als 200.000 m³/any i davalla fins als 140.000 m³/any en la component S.

Ambdós superfícies són molt semblants i, per tant, la platja tendirà a bascular en les dues direccions, però generalment estarà més basculada cap al sud.

En la situació futura es perceben una sèrie de canvis. L'onatge generador de la basculació de la platja cap al sud minva ja que, encara que direccionalment és igual al present, energèticament és menor., amb un transport màxim de 120.000 m³/any fins als 75.000 m³/any.

Per una altra banda, l'onatge generador de basculament de la platja cap al nord quasi no es modifica. Direccionalment roman igual i en superfície minva, emperò la diferència no és tan elevada com amb l'altre onatge, ja que és de l'ordre d'un 10.000 m³/any.

Per tant, aquests canvis tindran dos efectes sobre la platja, el primer de tots serà que el transport longitudinal de sediments canviarà de direcció i serà cap al nord com ja s'havia dit anteriorment. El segon serà que la platja tendirà a estar més basculada cap al nord, fet que no provocarà més pèrdua de sorra, ja que té molta longitud on recolzar-se.

6.3.3.4. MODEL RCA_E

La *Rosa Litoral* tant en la situació present com en la futura es presenta en la Figura 43.

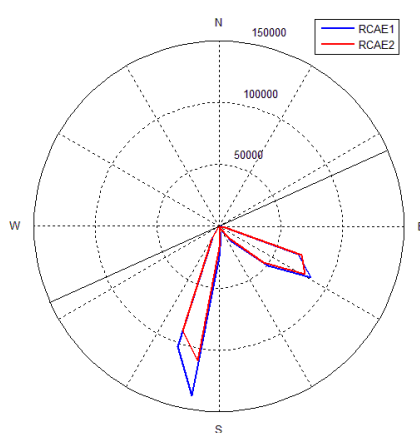


FIGURA 43. ROSA LITORAL DEL MODEL RCA_E

S'observen dos grups d'onatges diferents tant en la situació present, en blau, com en la futura, en vermell. En aquest model el transport longitudinal de sediments és cap al nord, tant en la situació present com en la futura.

En la situació present, l'onatge generador de la basculació de la platja cap al sud és de component ESE-SE (comprèn les direccions 110-130°) amb un transport de sediments longitudinal comprés entre els 75.000 m³/any en la component ESE i els 50.000 m³/any en la resta de direccions.

Per una altra banda, l'onatge generador de la basculació de la platja cap al nord és de component S-SOS (comprèn les direccions 100-110°) amb un transport de sediments longitudinal d'entre 100.000 m³/any fins als 140.000 m³/any.

Per tant, en la situació present, en aquest model la platja bascularà en ambdues direccions encara que tendirà a estar més basculada cap al nord i anàlogament, el transport de sediments serà cap al nord.

En la situació futura, l'onatge generador de la basculació de la platja cap al sud no varia ni direccionalment ni en superfície. L'onatge generador de la basculació de la platja cap al nord

sofreix una davallada en la superfície d'aproximadament uns 20.000 m³/anys en les dues components.

Per tant, en la situació futura, el transport de sediments longitudinal serà igualment cap al nord però en menor quantia i la platja tendirà a estar menys basculada cap al nord que en la situació actual.

6.3.3.5. MODEL RCA_H

La *Rosa Litoral* del model RCAH tant en la situació present com en la situació futura es presenta en la Figura 44.

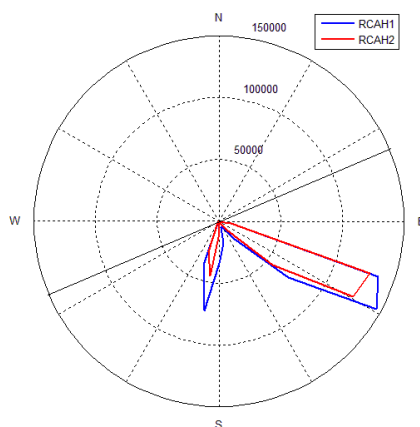


FIGURA 44. ROSA LITORAL DEL MODEL RCA_H

S'observen dos grups d'onatges diferents tant en la situació present, en blau, com en la futura, en vermell. En aquest model el transport longitudinal de sediments és cap al nord, tant en la situació present com en la futura.

L'onatge generador de la basculació de la platja cap al sud és de component ESE-SE (comprèn les direccions 110-130°). El transport de sediments oscil·la entre els 140.000 m³/any de la direcció ESE fins als 60.000 m³/any de la direcció SE.

Per una altra banda, l'onatge generador de la basculació de la platja cap al nord és de component S-SOS, amb un transport de sediments d'entre uns 20.000 m³/any en la component sud, fins a un màxim de 60.000 m³/any en la component SOS.

Per tant, en la situació present segons aquest model la platja tendirà a estar molt basculada cap el sud, fet que provocaria pèrdua de sorra per la poca longitud sobre la que recolzar-se en la vessant sud. Anàlogament, existiria un transport longitudinal de sediments important cap al sud.

En la situació futura, l'onatge generador de la basculació cap al sud segueix sent important, emperò es redueix el transport en uns 10.000 m³/anys per a totes les direccions. Amb l'onatge generador de la basculació de la platja cap al nord, la disminució s'agreuja i arriba fins als 20.000 m³/any de disminució.

Per tant, en la situació futura, la basculació de la platja i el transport de sediments seran més elevats que en la situació actual i seran de component sud igualment.

6.4. CANVIS MORFOLÒGICS EN PLANTA DE LES PLATGES

En aquest capítol s'estudia els possibles canvis en planta que tindrà la platja en la situació futura com a conseqüència d'un possible canvi en el transport longitudinal. Per això primerament es fa una selecció dels models més adients per aquest estudi. S'elegeixen el model REM_E i el model RCA_H, ja que són els únics models que presenten un transport longitudinal de nord a sud.

6.4.1. BASCULACIÓ DE LA LÍNIA DE PLATJA

En aquest apartat s'estudia l'efecte basculador que provoca el transport longitudinal a la platja com a conseqüència directa de l'onatge incident. Només es té en compte el tram principal ja que és el de major longitud i paral·lel a la costa.

En ambdós estudis, la situació inicial de la platja ha estat la de la Figura 45 (ample de la platja constant i igual als 50 m) amb una superfície total de 57.600 m². La situació final és resultat d'aplicar el transport longitudinal mig en la situació present i futura (veure taula 22) sobre la platja en un període de 30 anys sense cap més intervenció externa.

Situació	Transport longitudinal (m ³ /any)	
	REM_E	RCA_H
Present	499,95	7.232,80
Futura	-3.052,15	8.425,94

TAULA 22. VARIACIÓ DEL TRANSPORT LONGITUDINAL DEL MODEL REM_E I RCA_H

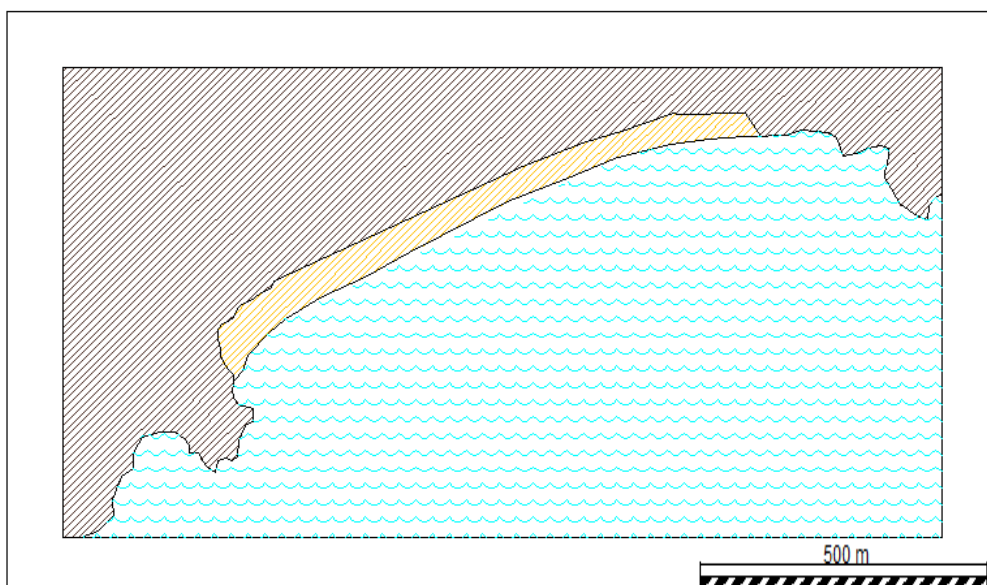


FIGURA 45. ESQUEMATITZACIÓ DE LA SITUACIÓ INICIAL DE LA PLATJA DE LLORET

6.4.1.1. MODEL REM_E

A continuació es presenta la situació d'equilibri del model REM_E en la situació actual i en la situació futura en les figures 46 i 47 respectivament.

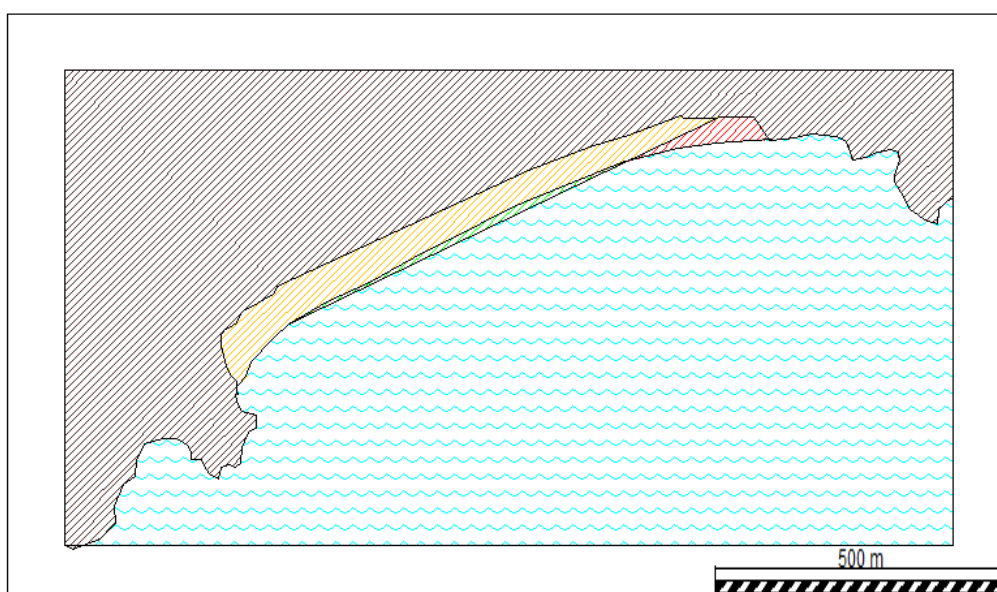


FIGURA 46. BASCULACIÓ RESULTANT EN LA SITUACIÓ ACTUAL DEL MODEL REM_E

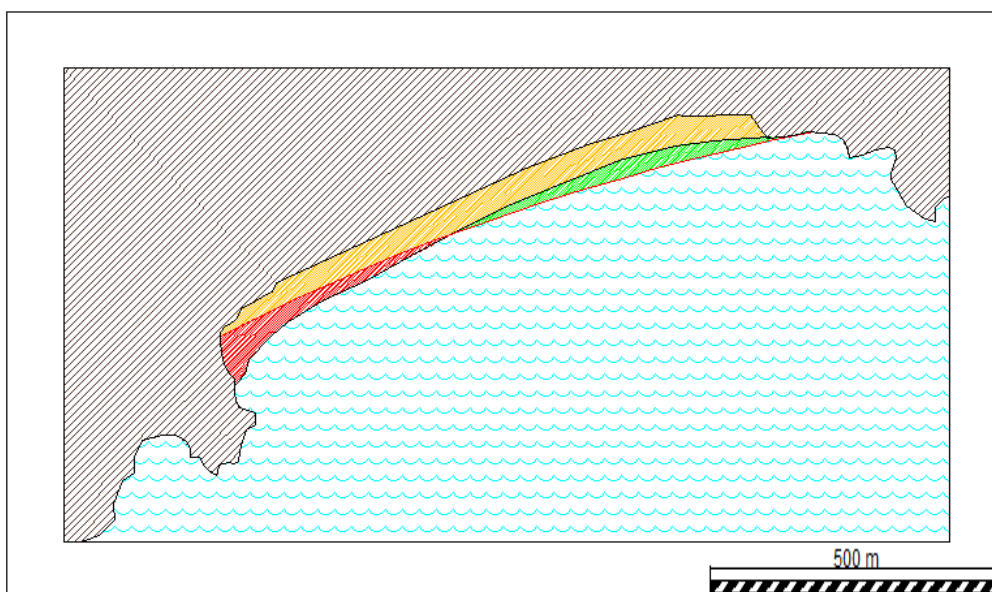


FIGURA 47. BASCULACIÓ RESULTANT EN LA SITUACIÓ FUTURA DEL MODEL REM_E

Com es pot observar, el transport longitudinal en la situació actual provocarà una lleugera basculació cap al sud per la pèrdua de sorra que es produirà en la zona nord de la platja. La pèrdua de superfície en la zona nord correspon a uns 6.300 m^2 , superfície guanyada en la part central i sud. Aquest fet provocarà que la platja en la part central i la part sud tingui una amplada més que suficient, superant els 50 metres, mentre que la zona nord es veuria perjudicada, tenint una amplada insuficient per a la seva funció recreativa i dissipativa. Aquest model és semblant a l'actual basculació de la platja, on la zona nord té una amplada mínima de 5 metres, mentre que la zona sud té una amplada més que suficient.

Per una altra banda, la basculació de la platja en la situació futura tendirà a ser cap al nord, contràriament a l'actual. En aquest marc, la pèrdua de sorra en la zona sud seria de 11.600 m^2 , sorra que aniria a la zona central i nord. Aquest fet provocaria que una gran longitud de la zona sud fos d'amplada inferior a la recomanable, mentre que la zona nord tindria una amplada excessiva.

6.4.1.2. MODEL RCA_H

A continuació es presenta la situació d'equilibri del model RCA_H en la situació actual i en la situació futura en les Figures 48 i 49 respectivament.

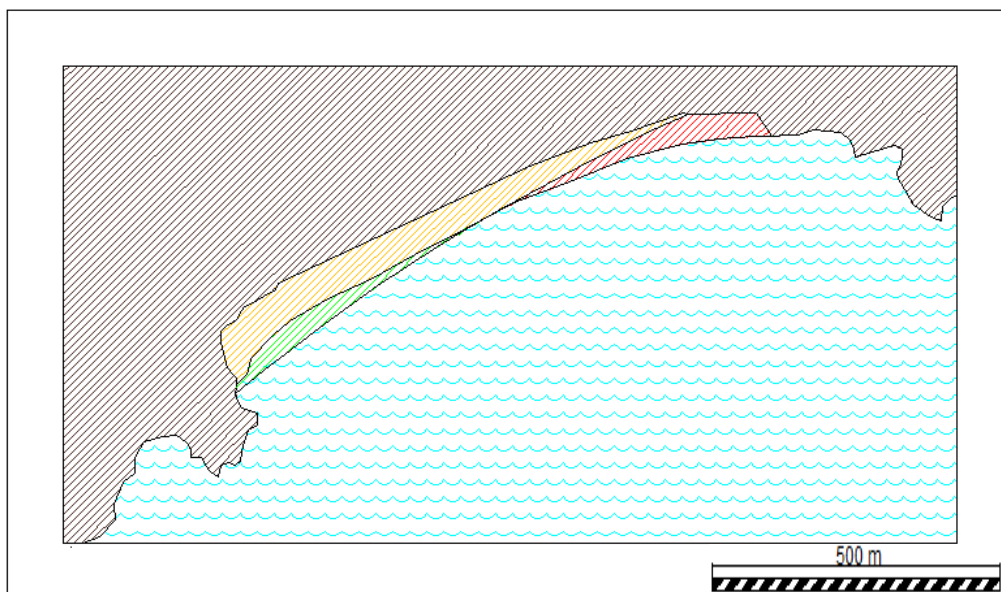


FIGURA 48. BASCULACIÓ RESULTANT EN LA SITUACIÓ ACTUAL DEL MODEL RCA_H

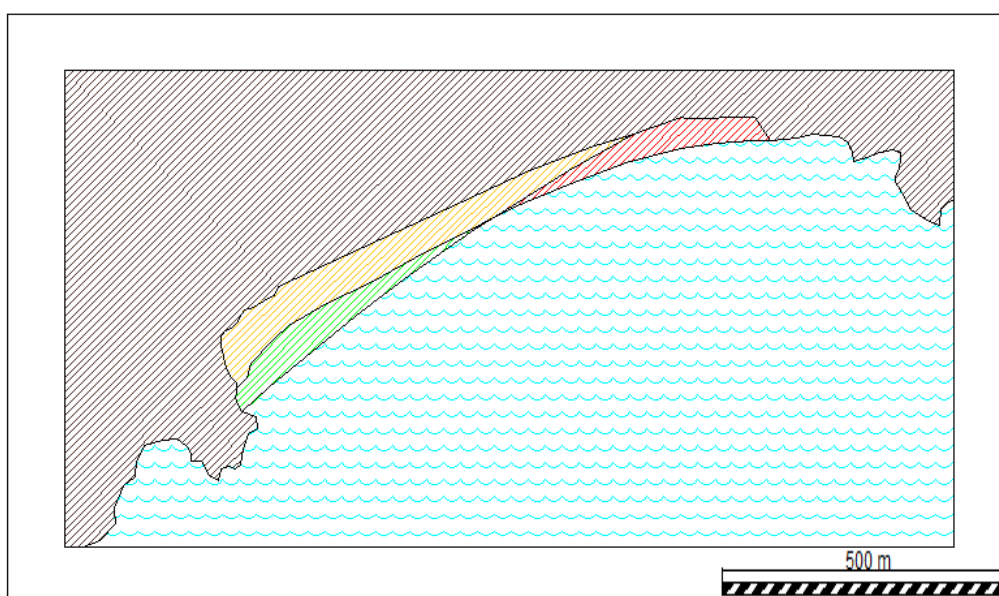


FIGURA 49. BASCULACIÓ RESULTANT EN LA SITUACIÓ FUTURA DEL MODEL RCA_H

Com es pot observar, en la situació present existeix una basculació de la platja cap al sud provocant una erosió en la zona nord que transporta 12.500 m^3 de la zona nord a la sud. Aquest fet provoca que la zona nord perdi molta amplada d'ona o que fins i tot desaparegui part de platja. Per una altra banda, la zona sud aconsegueix una amplada excessiva, ja que arriba als 100 m.

En la situació futura, el procés s'agreuja i la zona nord sofreix una erosió de 17.000 m^3 . En aquest marc, la situació és més greu que en la situació actual, no només perquè la zona nord perd més amplada i més longitud de platja, sinó perquè, a més, a la zona sud l'amplada de a

platja creix massa, ja que la platja bascula en excés i es podria produir una pèrdua de sorra de la platja cap a platges més al sud.

6.4.2. CANVIS EN EL BASCULAMENT DE LA PLATJA

En aquest apartat s'estudiarà els canvis en el basculament de la Platja de Lloret, tan per a la situació actual com per la situació futura. A l'igual que en l'apartat anterior s'elegeixen els models que en la situació actual presenten un transport longitudinal concordant amb la realitat, el model REM_E i el model RCA_H.

Per a comprovar els possibles canvis en la basculació en el períodes estudiats, és necessari calcular el transport longitudinal any a any per comprovar les possibles variacions del mateix. Després es realitza el sumatori del transport any rere any i es comprova el número de vegades en el que el pendent de la funció de l'acumulat canvia de signe, fet interpretable com un canvi en la basculació de la platja.

Aquest darrer apartat no intenta comprovar quins anys exactes es produirà un canvi en el transport i, per tant, un possible canvi en el recolzament de la platja sobre la costa, sinó que es tracta del càlcul, de mitjana, en que la platja bascularà en aquell període segons cada model i situació, i així poder realitzar una comparació del nombre de vegades que la platja tendirà a rotar. Això és degut a que les projeccions d'onatge han estat forçades per vents generats per models climàtics a llarga escala temporal, que no tenen la precisió de predir què passarà exactament una data en qüestió, però sí que són viables per a predir les característiques d'un clima de 30 anys (la durada del clima d'una època).

6.4.2.1. MODEL REM_E

En la Taula 23, es mostra el transport anual del model REM_E tant per la situació actual com per a la situació futura. En les Figures 50 i 51 es mostren el transport anual i el transport acumulat en la situació actual respectivament.

Es marca amb un cercle vermell cada canvi de signe en el pendent de la funció de l'acumulat. S'observa com el model REM_E, encara que de mitjana el seu transport longitudinal és cap al sud, i per tant la seva basculació, sofreix nombrosos períodes de basculació en un sentit i en l'altre, fins a un total de 20 de fenòmens en un període de 30 anys.

Per una altra banda, en les Figures 52 i 53 es mostren el transport anual i el transport acumulat en la situació futura respectivament. En aquesta període, el model REM_E presenta un transport cap al nord i, per tant, la platja tendirà a estar recolzada cap al nord. No obstant, la mobilitat de la platja disminueix respecte a la situació present, ja que només és registren, de mitjana, 12 fenòmens de canvi del sentit del basculament de la platja.

Per tant, encara que en cada situació (tan present com actual), la platja tendirà a estar basculada més cap a un extrem que cap a l'altre, aquesta tindrà molta mobilitat i la seva basculació serà elevada, encara que disminuirà en el futur.

Model REM_E			
Situació actual		Situació futura	
ANY	Q (m ³ /any)	ANY	Q(m ³ /any)
1980	-11695,3475	2070	534,75
1981	-6011,35395	2071	-18.149,59
1982	2773,31565	2072	-5.382,87
1983	-19079,4318	2073	-14.524,10
1984	11,9694154	2074	47.007,17
1985	-3218,53439	2075	-5.896,97
1986	-4774,62692	2076	4.117,34
1987	14304,6988	2077	-9.770,33
1988	19257,6686	2078	-796,21
1989	-4348,27846	2079	-12.209,01
1990	2305,48795	2080	-12.572,17
1991	-5887,55846	2081	-6.573,14
1992	-6968,47218	2082	-7.692,76
1993	-11091,0485	2083	-637,95
1994	2514,84385	2084	17.953,36
1995	-14134,7561	2085	-1.159,85
1996	1523,34526	2086	4.826,74
1997	-4299,31426	2087	-2.315,91
1998	2895,64991	2088	-1.694,51
1999	-3551,60707	2089	12.223,91
2000	-4464,59384	2090	-10.059,48
2001	12867,0947	2091	-12.668,04
2002	11995,6222	2092	-19.418,12
2003	-4344,23139	2093	-15.618,01
2004	32888,5068	2094	-3.285,96
2005	-9999,92824	2095	5.591,09
2006	10710,3309	2096	-555,21
2007	-1431,3157	2097	-7.285,97
2008	-13440,3174	2098	-2.460,76
2009	29690,66	2099	-13.092,02

TAULA 23. CÀLCUL ANY A ANY DEL TRANSPORT LONGITUDINAL EN EL MODEL REM_E

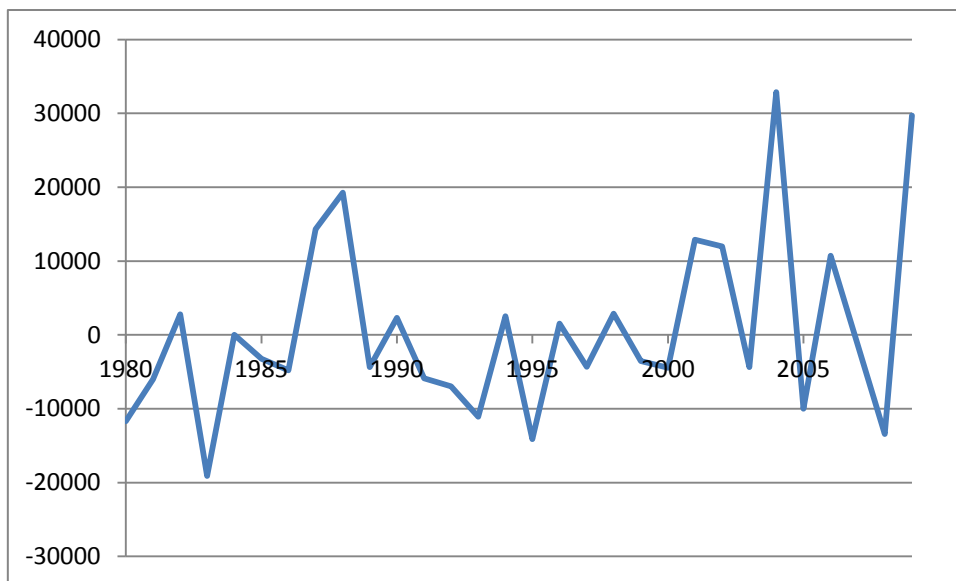


FIGURA 50. TRANSPORT LONGITUDINAL ANY A ANY EN LA SITUACIÓ ACTUAL (REM_E)

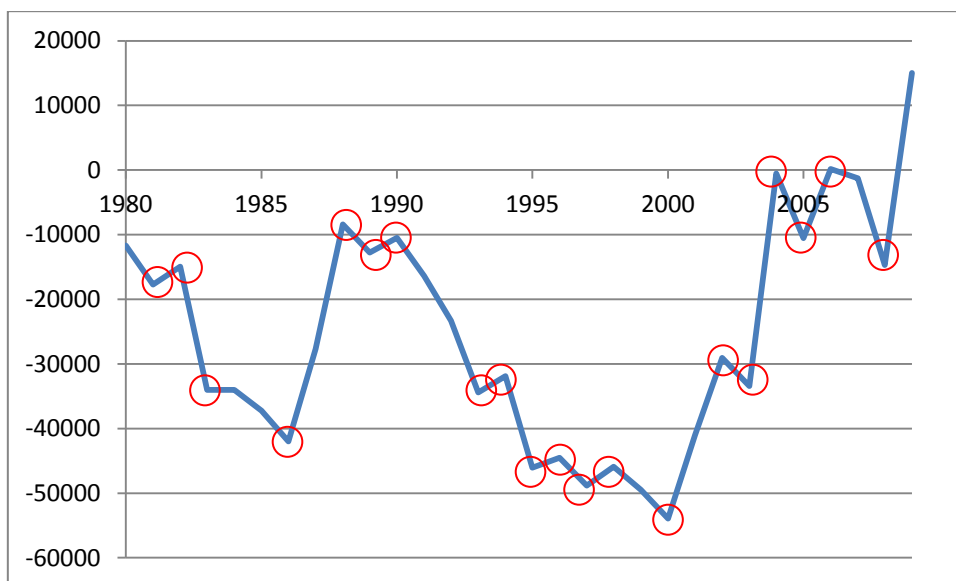


FIGURA 51. FUNCIÓ ACUMULADA DEL TRANSPORT EN LA SITUACIÓ ACTUAL (REM_E)

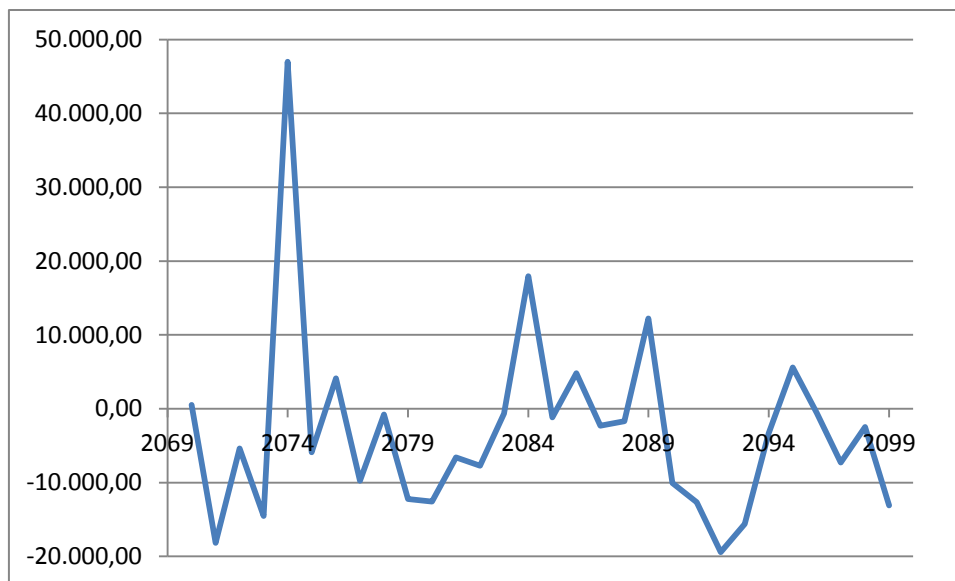


FIGURA 52. TRANSPORT LONGITUDINAL ANY A ANY EN LA SITUACIÓ FUTURA (REM_E)

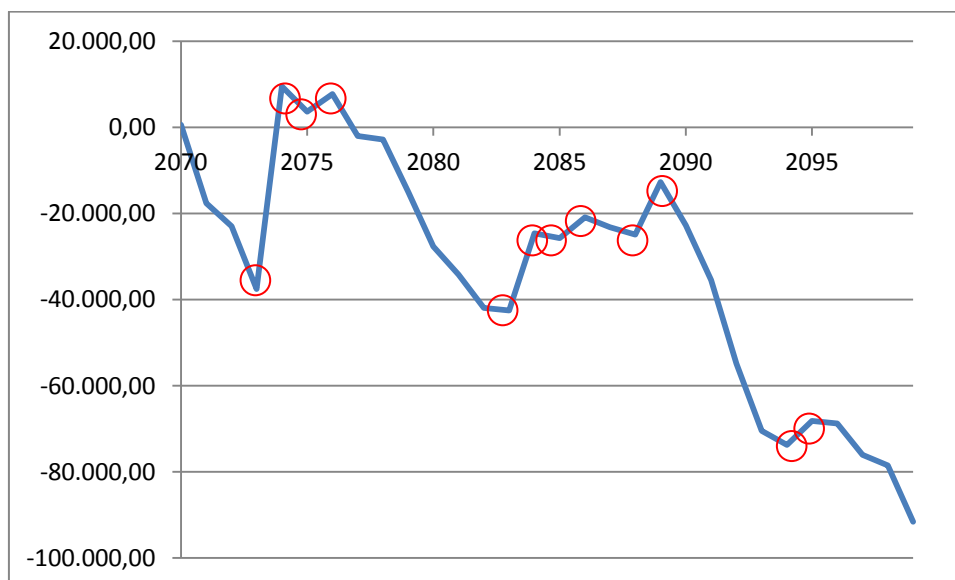


FIGURA 53. FUNCIÓ ACUMULADA DEL TRANSPORT EN LA SITUACIÓ FUTURA (REM_E)

6.4.2.2. MODEL RCA_H

En la Taula 24, es mostra el transport anual del model RCA_H tant per la situació actual com per a la situació futura. En la Figures 54 i 55 es mostren el transport anual i el transport acumulat en la situació actual respectivament.

S'observa com en el model RCA_H, predomina transport longitudinal cap al sud i, per tant, la platja basculada en el mateix sentit, fent que existeixi molt poca mobilitat de la platja ja que només sofreix, de mitja, un període de basculació cap a l'altre sentit..

Per una altra banda, en les figures 56 i 57 es mostren el transport anual i el transport acumulat en la situació futura respectivament. En aquesta situació, el fet s'accentua i encara que també sofreix un procés de basculació de la platja, és quasi inapreciable.

Per tant, en el model RCA_H la platja tendirà a estar recolzada sobre el sud, en ambdues situacions.

Model RCA_H			
Situació actual		Situació futura	
ANY	Q(m ³ /any)	ANY	Q(m ³ /any)
1970	19702,6914	2070	-
1971	4423,20115	2071	20.542,36
1972	1479,72133	2072	11.403,08
1973	15584,6954	2073	7.117,05
1974	10419,8554	2074	17.567,16
1975	5829,8716	2075	3.265,01
1976	5661,59582	2076	-2.354,58
1977	2953,192	2077	7.587,93
1978	9696,58794	2078	-421,58
1979	5233,94604	2079	10.402,83
1980	40716,5175	2080	11.655,68
1981	6634,27541	2081	480,81
1982	447,50889	2082	3.284,36
1983	37319,8193	2083	5.592,60
1984	4978,24599	2084	13.668,29
1985	31296,8175	2085	21.299,10
1986	5330,11017	2086	5.910,04
1987	6176,50371	2087	3.638,55
1988	17982,4851	2088	16.439,14
1989	10210,3108	2089	14.045,34
1990	10101,0072	2090	4.256,07
1991	6041,37952	2091	11.800,09
1992	16132,5245	2092	5.252,66
1993	10652,4174	2093	1.431,21
1994	7145,93242	2094	8.838,44
1995	-16645,7533	2095	16.450,40
1996	-7634,79676	2096	7.860,03
1997	-19419,4831	2097	7.816,87
1998	-7794,34906	2098	11.070,41
1999	-23672,6877	2099	6.878,86

TAULA 24. ANY A ANY DEL TRANSPORT LONGITUDINAL EN EL MODEL RCA_H

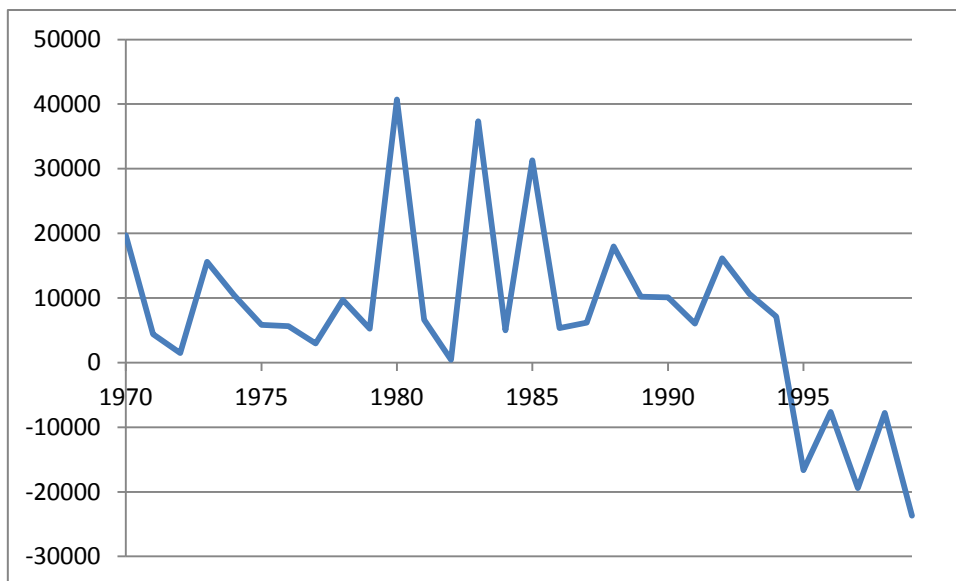


FIGURA 54. TRANSPORT LONGITUDINAL ANY A ANY EN LA SITUACIÓ ACTUAL (RCA_H)

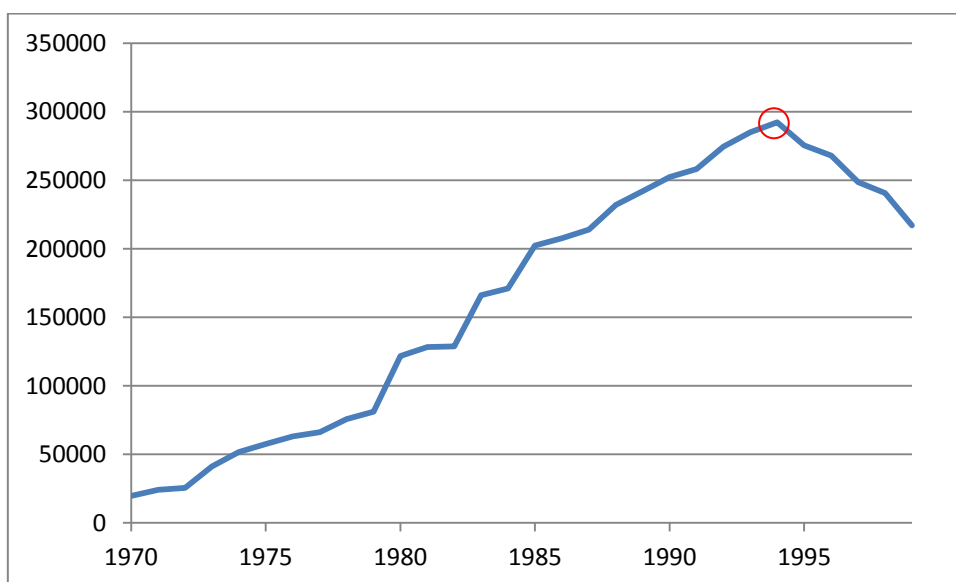


FIGURA 55. FUNCIÓ ACUMULADA DEL TRANSPORT EN LA SITUACIÓ ACTUAL (RCA_H)

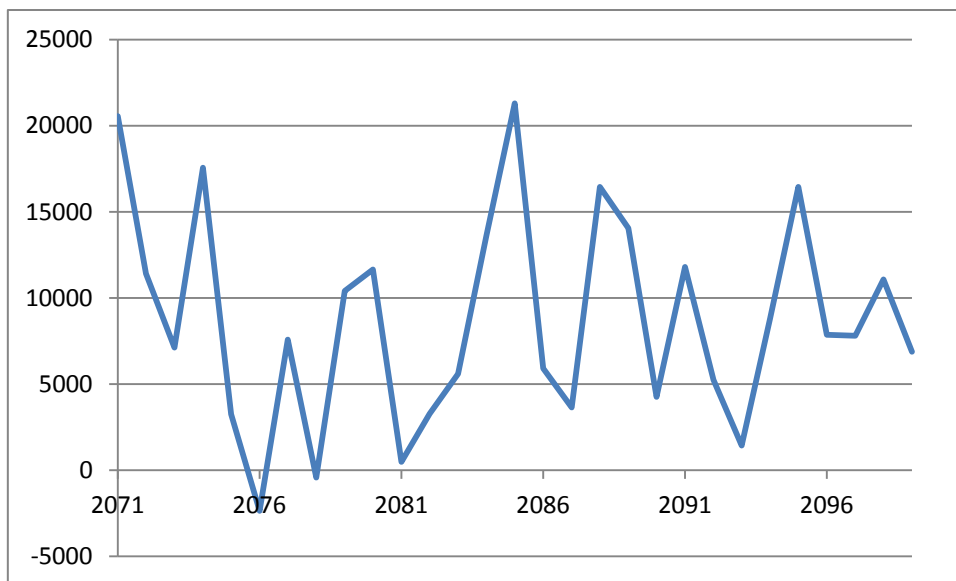


FIGURA 56. TRANSPORT LONGITUDINAL ANY A ANY EN LA SITUACIÓ FUTURA (RCA_H)

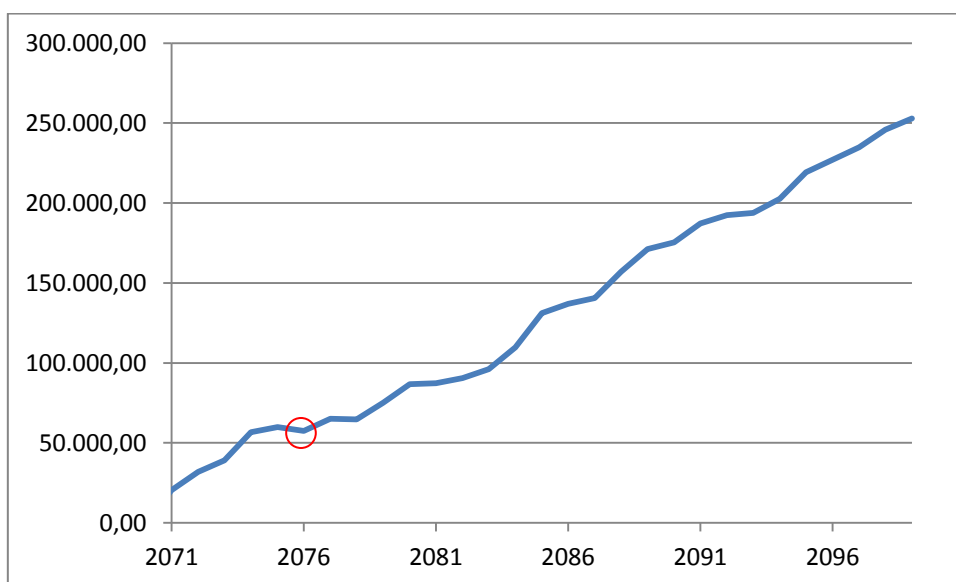


FIGURA 57. FUNCIÓ ACUMULADA DEL TRANSPORT EN LA SITUACIÓ FUTURA (RCA_H)

7. CONCLUSIONS

Un cop presentats els resultats es procedeix a extreure les conclusions així com proposar una sèrie de possibles línies de treball futures.

En aquesta tesina, s'han analitzat les evolucions de l'onatge costaner en la zona de Lloret de Mar i del transport longitudinal i la basculació de la Platja de Lloret, tan per a la situació actual (entès com el període comprés entre el 1970 i el 2000) com per a la situació futura (entès com el període comprés entre el 2070 i el 2100). Els resultats s'exposen a continuació i han estat els següents:

- Evolució de l'onatge costaner

Les característiques principals estudiades en l'onatge costaner són: l'alçada d'ona significant i la direcció de l'onatge.

En el futur, hi haurà una disminució de l'alçada d'ona mitja i de l'alçada d'ona màxima per a totes les combinacions de models estudiades. Amb un descens del 8,3% per al model RCA_H, fins a un descens del 33,34% del model HIR_E en l'alçada d'ona màxima. Per tant, es pot assumir que, de mitjana, els onatges en la zona de Lloret de Mar tindran una alçada d'ona menor a l'actual i que aquesta variació d'alçada no queda del tot acotada i depèn del model en qüestió.

No obstant, alguns models presenten un augment energètic dels onatges d'alçades d'ona més grans (els percentils superiors dels model HIR_E, RCA_E i RCA_H), d'igual forma que l'observat en el treball principal de partida (Casas-Prat i Sierra, 2013). Encara que, com es pot veure, no engloba tots els models, i per tant es fa difícil extreure una conclusió sobre la variació energètica dels onatges en la Platja de Lloret.

En quan al canvi de la direcció de l'onatge, tots els models presenten un augment del sector E, en especial en les direccions NE, ENE i E de l'ordre del 2-3%, sent el model que presenta un major canvi el RCA_H. D'igual manera, els models realitzats mitjançant el model global ECHAM5 (amb l'excepció de la combinació d'aquest amb el model regional RCA3, l'RCA_E) presenten un augment del sector SO, menor al sector anterior E i de l'ordre de l'1 al 2%. No obstant, ambdues combinacions del model regional RCA3 amb els dos models globals, presenten una disminució del sector S i SO de l'ordre del 2%.

Per tant, mentre que per una banda es pot concloure que l'onatge sofrirà un augment de les direccions de component E, i en especial les components ENE i E. Per altra banda, el sector S-SO presentarà dos escenaris possibles, o bé una disminució de les direccions S-SO (com indiquen els models regionals RCA3) o bé un augment de les mateixes.

- Evolució del transport longitudinal

En el càlcul del transport i del sentit del transport longitudinal, s'han comparat els resultats obtinguts amb les dades del Llibre Verd de la costa catalana (Edició 2007) on s'utilitza la boia de Blanes com a referència.

Per una banda, s'avalua la idoneïtat de les dades que s'obtenen del model HIPOCAS. En el cas del node utilitzat i que resulta ser el 2071053 es pot concloure que la cal·libració de les alçades i de les direccions no resulta ser del tot bona a l'obtenir, mitjançant la seva mostra de dades d'onatge, un transport longitudinal de sud a nord en la situació actual, i per tant, contrari a l'existent. Per això, el model HIPOCAS no s'utilitza per a les comparacions en la situació present.

Per una altra banda, les combinacions de models donen resultats dispars tan en la situació actual com en la situació futura. En la situació present, només dos models presenten un transport longitudinal de nord a sud i resulten ser el RCA_H i el REM_E, encara que el model RCA_H té un transport de magnitud major al REM_E.

En la situació futura, els resultats també són dispars. Per una banda, els models que presenten un transport de sud a nord són el HIR_E, el REM_E i el RCA_E, mentre que el RAC_E i el RCA_H presenten un transport de nord a sud. És curiós observar com, encara que la variabilitat en l'onatge no sigui tan elevada com es podria pensar, el transport longitudinal tan en la situació inicial com futura presenta una gran viabilitat i fins i tot dos models (el REM_E i el RAC_E) canvien el sentit del transport longitudinal i, a més, ho fan un al contrari de l'altre.

Igualment, sí que s'observa que aquells tres models que no canvien el seu signe, com són el HIR_E, el RCA_E i el RCA_H, presenten un augment del transport longitudinal cap al sud de l'ordre del 4%, 66% i 16%, a més del model RAC_E, on el transport longitudinal cap al sud augmenta tan que canvia el sentit. Per tant, l'únic model que augmenta el transport longitudinal cap al nord és el REM_E.

Resumint, encara que en la situació futura els models presenten valors contraris, és d'esperar que el transport longitudinal cap al sud augmenti. Això és pot relacionar amb el fet que els onatges ENE i E augmentin més que els onatges SO i S, característica avaluada en el punt anterior.

- Evolució de la basculació

Per al càlcul de la línia de platja i del nombre de basculacions o rotacions que aquesta sofreix, s'utilitzen els dos models que en la situació present presentaven valors del transport longitudinal més coherents amb la realitat.

A l'igual que amb el transport longitudinal, no es poden treure conclusions clares dels possibles efectes que el canvi climàtic pugui tenir sobre l'efecte de la basculació de les platges encastades a l'haver obtingut dues basculacions contràries. Emperò, cal remarcar que la basculació del model RCA_H és la més semblant a l'actual (amb una Platja de Lloret clarament recolzada sobre la zona sud i amb la zona nord presentant uns amplex de platja molt inferiors), i que aquest model preveu que si la tendència continués en la situació futura, seria més que probable que es produís una pèrdua de sorra com a conseqüència del by-pass que es produiria al no tenir suficient longitud l'extrem rocós del sud i permetre aquest, el pas de la sorra cap a altres platges.

Per últim, s'arriba a la conclusió, segons els dos models estudiats, que el nombre de rotacions de la platja (és a dir, el nombre de vegades que la platja es recolza sobre un o sobre l'altre

extrem) tendirà a la baixa, ja sigui mantenint-se, com fa en el model RCA_H (model que presenta una sola basculació i que per tant, és molt estable) o disminuir com en el model REM_E (que passa de 20 rotacions a 12 per al mateix període).

Una vegada obtingudes les conclusions pertinents, es proposen diverses vies d'actuació a partir del treball realitzat.

- Adaptar les futures modificacions en la platja (ja siguin espigons de retenció, modificacions en el passeig marítim o realimentacions en la platja) tenint en compte la variabilitat del transport longitudinal i el seu augment generalitzat de nord a sud en aquesta platja.
- Continuar amb l'estudi de les tendències futures de l'onatge forçats amb altres models atmosfèrics globals i regionals, més precisos per a la regió d'estudi o que utilitzin una base de sortida diferent. Com per exemple, l'estudi presentat en el *Fifth Assessment Report* (2013-actualitat) per l'IPCC, obra encara en procés. Aquest nou informe ja no centra els seus models atmosfèrics en les emissions dels gasos, sinó que es centra en les concentracions d'aquests en l'atmosfera (*Representative Concentration Pathways*). D'aquesta manera es podrien comparar els resultats amb els obtinguts aquí per així intentar extreure unes conclusions més fidedignes.

8. BIBLIOGRAFIA

En aquest apartat es recullen per ordre alfabètic els documents i pàgines web que han estat consultats alhora de realitzar la tesina.

DOCUMENTS

Agustín Sánchez-Arcilla i José A. Jiménez. (1995). Proyectos y Construcción de Playas Artificiales y Regeneración de Playas, Capítulo III: Proyecto y Cálculo, Evolución en planta/perfil de una playa. Métodos predictivos.

Casas-Prat, M. i Sierra, JP. (2013). Projected future wave climate in the NW Mediterranean Sea. Journal of Geophysical Research: Oceans, Vol. 00, 1-21.

Colins, M., S. F. B. Tett, and C. Copper (2001). The internal climate variability of HadCM3, a version of Hadley Center coupled model without flux adjustments, Clim. Dyn. 17, 61-81.

Contribution of Working Group I: The Scientific Basis of the Intergovernmental panel on climate change. (2001). Climate Change 2001: IPPC Third Assessment Report. Chapter 9: Projections of Future Climate Changes.

Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the intergovernmental panel on climate change. (2007). Climate Change 2007: the AR4 Synthesis Report. Chapter 3: Climate changes and its impacts in the near and long term under different scenarios.

Departament de Política Territorial i Obres Públiques. (2010). Llibre Verd de la costa catalana. Capítol I,II i III.

Harrould-Kolieb, E.; Savitz, J. (2008). Acid Test: Can we save our oceans from CO₂?.Oceana. 1-7.

Grup d'Experts en Canvi Climàtic a Catalunya. (2007). Segon informe sobre canvi climàtic a Catalunya, 9-17.

Grup d'Experts en Canvi Climàtic a Catalunya. (2014). Catalunya i els objectius de reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle. Quart informe de progrés, 40-61.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2000). Informe especial del IPCC, Escenarios de emisiones, 7-10.

Hallermeier, R. J. (1981). A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate. Coastal Engineering, Vol. 4, 235-277.

Nicholls, R.J., P.P. Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, J.E. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden and C.D. Woodroffe, 2007: Coastal systems and low-lying areas. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315-356.

Puertos del Estado. (2012). Conjunto de datos SIMAR-44.

Roeckner, E., et al. (2003). The atmospheric general circulation model ECHAM5. Model description, Tech. Rep. 249, Hamburg.

Scripps Institution of Oceanography. NOAA Earth System Research Laboratory (2014). Monthly mean atmospheric carbon dioxide at Mauna Loa Observatory, Hawaii.

Thornton EB, Guza RT (1983) Transformation of wave height distribution. J Geophys Res 88:5925-5938.

U.S. Army Corps of Engineers. (1984). Shore Protection Manual. Volume I. Chapter 4: Littoral Processes, 1-11.

Walton, T.L. R.G. Dean (1973). Application of littoral drift roses to coastal engineering problems. In: Proceedings of the Conference on Engineering Dynamics in the Surf Zone, Sydney, Australia, pp. 221–227.

Pàgines web consultades

www.icc.es (Institut Cartogràfic de Catalunya). (2014)

www.maps.google.es. (2014)

www.guias.masmar.net (Guies Nàutiques de la Costa Brava). (2014)